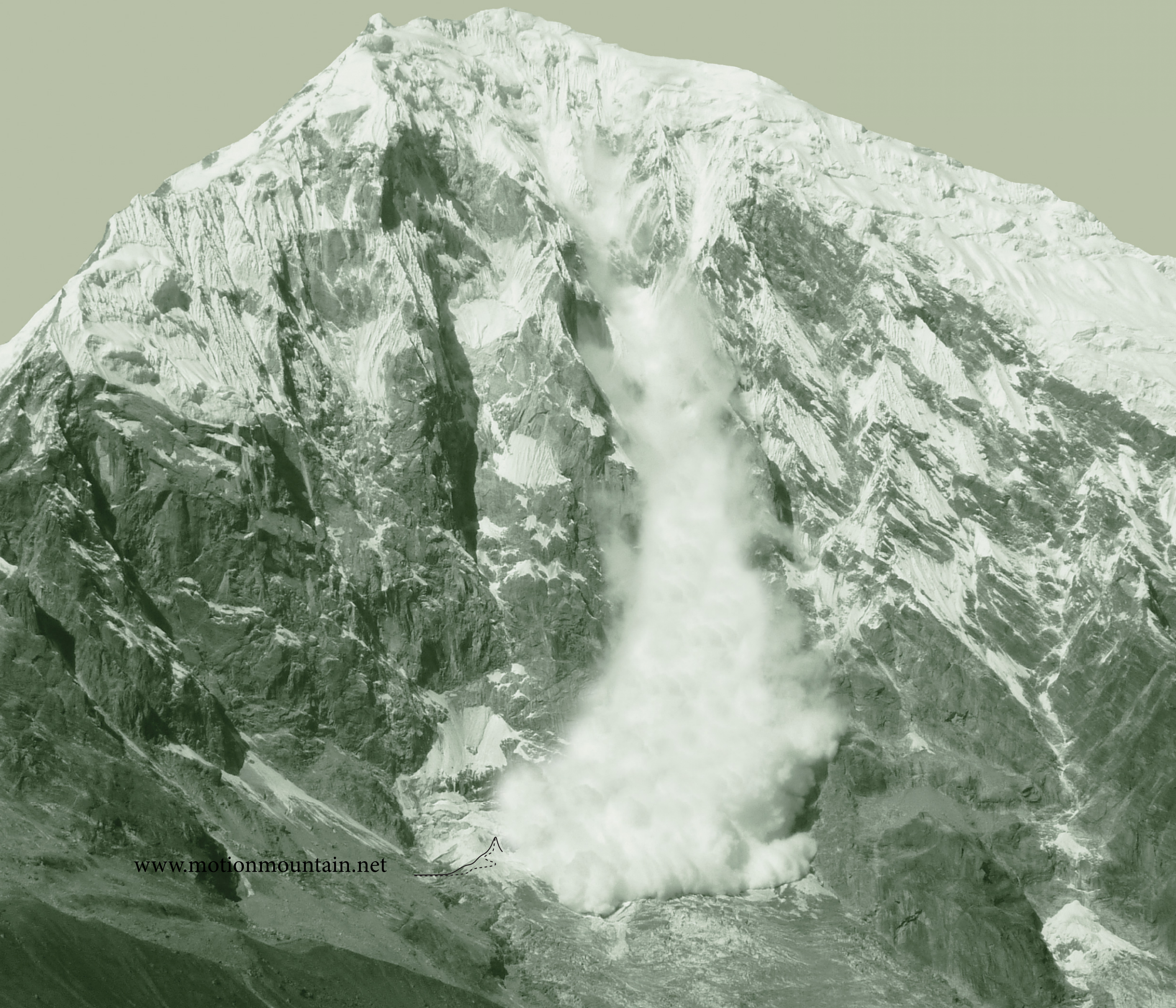
Christoph Schiller Dịch giả: Cao Sĩ Sơn

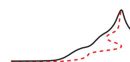
HÀNH SƠN

CUỘC PHIÊU LƯU CỦA VẬT LÝ – QUYỂN I

SỰ RƠI, DÒNG VÀ NHIỆT



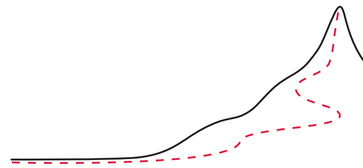
www.motionmountain.net



Christoph Schiller

Dịch giả: Cao Sĩ Sơn

Hành Sơn



Cuộc phiêu lưu của Vật lý
Quyển I

Sự rơi, dòng và nhiệt

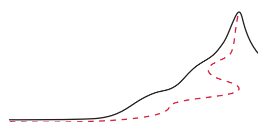
Ấn bản 31, có bản miễn phí dạng pdf kèm với film tại trang web www.motionmountain.net


BY NC ND

To Britta, Esther and Justus Aaron

τῷ ἐμοὶ δαὶμονι

Die Menschen stärken, die Sachen klären.



Lời mở đầu

> Primum movere, deinde docere.*
>
> Cổ nhân

Bộ sách này dành cho những người muốn tìm hiểu về chuyển động trong thiên nhiên. Sự vật, con người, động vật, hình ảnh và không gian chuyển động như thế nào? Câu trả lời dẫn tới nhiều cuộc phiêu lưu và quyển sách này trình bày những kiến thức mới nhất về chuyển động *thông thường*. Việc quan sát kỹ lưỡng các chuyển động thông thường giúp cho ta suy ra được 6 đặc điểm cốt yếu của nó: liên tục, bảo toàn, tương đối, thuận nghịch, bất biến gương – và lười biếng. Đúng vậy, thiên nhiên rất lười: trong mọi chuyển động, nó đều cực tiểu hoá sự biến đổi. Quyển sách này tìm hiểu phương thức suy ra 6 kết quả này và cách thức mà chúng tương hợp với các quan sát mà khi nhìn qua có vẻ như mâu thuẫn với chúng.

Trong cấu trúc của Vật lý hiện đại, được trình bày trong Hình 1, các kết quả về chuyển động thông thường tạo nên phần chính của khởi điểm nằm ở dưới đáy. Quyển sách này là quyển đầu tiên trong bộ tổng quan về Vật lý gồm 6 quyển bắt nguồn từ 3 mục tiêu mà tôi đã theo đuổi từ năm 1990: trình bày chuyển động theo phương thức đơn giản, hiện đại và hấp dẫn.

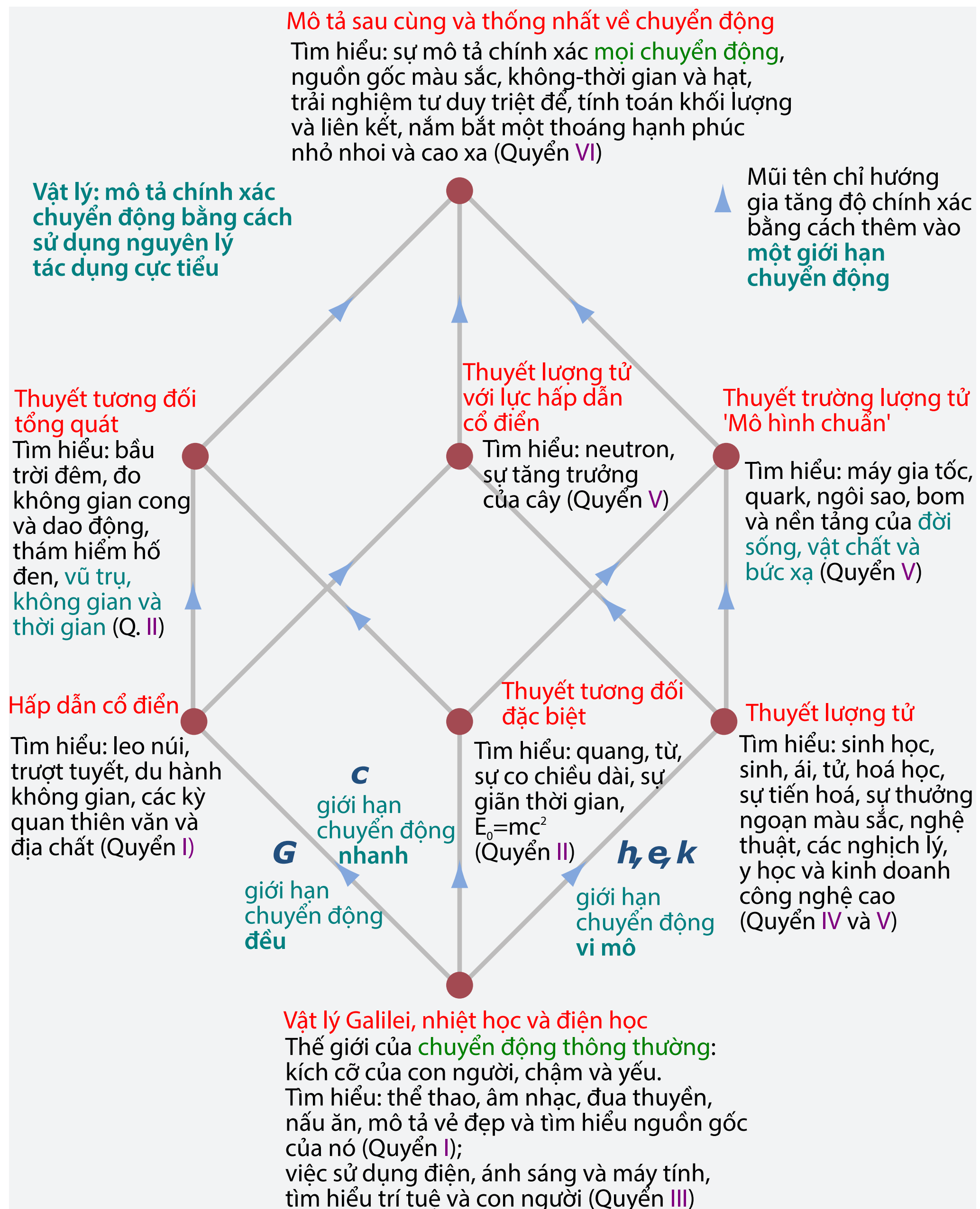
Với mục đích *đơn giản*, quyển sách sẽ tập trung vào các khái niệm và giới hạn phần toán học ở mức tối thiểu. Việc tìm hiểu các khái niệm vật lý được ưu tiên hơn việc sử dụng các công thức tính toán. Kiến thức của quyển sách chỉ ở trình độ của sinh viên đại học.

Với mục đích *hiện đại*, quyển sách sở hữu rất nhiều các tư liệu quý – cả lý thuyết lẫn thực nghiệm – rải rác trong nhiều tài liệu khoa học.

Với mục đích *hấp dẫn*, quyển sách sẽ cố gắng làm cho độc giả ngạc nhiên thật nhiều. Việc đọc một quyển sách vật lý đại cương sẽ giống như đi xem ảo thuật. Chúng ta xem, ngạc nhiên, không tin vào mắt mình, suy nghĩ và sau cùng ta hiểu được mánh lới của trò ảo thuật. Khi quan sát thiên nhiên, ta cũng có cùng một kinh nghiệm như thế. Thật vậy, mỗi trang sách đều chứa ít nhất một điều bất ngờ hay một sự khích động khiến độc giả phải ưu tư. Nhiều câu đố hấp dẫn sẽ được giới thiệu với độc giả.

Câu châm ngôn của quyển sách, *die Menschen stärken, die Sachen klären*, một phát biểu nổi tiếng về giáo dục, có thể dịch ra là: 'Làm cho con người trở nên mạnh mẽ, làm sáng tỏ mọi điều.' Việc làm sáng tỏ mọi điều – chỉ trung thành với sự thật – đòi hỏi sự can đảm, vì thay đổi tập quán suy nghĩ sẽ làm phát sinh sự sợ hãi, thường được che giấu bằng sự giận dữ.

* 'Chuyển động trước, giáo huấn sau.' Trong ngôn ngữ hiện đại, *lay động* (trái tim) được gọi là *khuyến khích*; cả hai từ đều có cùng ngữ căn Latin.



HÌNH 1 Một bản đồ đầy đủ của vật lý, khoa học về chuyển động, được Matvei Bronshtein (b. 1907 Vinnytsia, d. 1938 Leningrad) giới thiệu lần đầu tiên. Hình lập phương Bronshtein bắt đầu từ dưới cùng với chuyển động thông thường và cho thấy các mối liên hệ của nó với các lĩnh vực vật lý hiện đại. Hướng của các kết nối biểu diễn sự gia tăng độ chính xác của việc mô tả nhờ các giới hạn được thêm vào. Giới hạn của chuyển động đều là hằng số hấp dẫn G, của chuyển động nhanh là tốc độ ánh sáng c, và của chuyển động của các hạt vi mô là hằng số Planck h, điện tích sơ cấp e và hằng số Boltzmann k.

Nhưng bằng cách vượt qua nỗi sợ hãi chúng ta sẽ trở nên mạnh mẽ đồng thời sẽ cảm nhận được những xúc cảm mãnh liệt và tốt đẹp. Mọi cuộc phiêu lưu vĩ đại trong đời đều cho phép điều này xảy ra và việc tìm hiểu về chuyển động là một trong những cuộc phiêu lưu đó. Hãy tận hưởng điều này.

Munich và Sài Gòn, 05-2020

Cách sử dụng sách

Những ghi chú bên lề sẽ chỉ đến các tham chiếu thư tịch, các trang khác hay lời giải của các câu đố. Trong ấn bản màu, ghi chú bên lề, chỉ dấu tới cước chú và liên kết đến các website được tô màu xanh lục. Theo thời gian, các liên kết internet có thể biến mất. Đa số các liên kết đều có thể phục hồi thông qua trang www.archive.org, nơi lưu giữ các bản sao của các trang web cũ. Trong ấn bản miễn phí của sách này dưới dạng pdf, sẵn có tại trang www.motionmountain.net, mọi chỉ dấu và liên kết xanh lục đều có thể truy cập được. Ấn bản pdf cũng chứa tất cả các film có thể xem trực tiếp bằng Adobe Reader.

Lời giải và gợi ý của các *câu đố* được cho trong phụ lục. Các câu đố được phân loại thành các mức độ dễ (e), học sinh bình thường (s), khó (d) và mức độ nghiên cứu (r). Các câu đố chưa có lời giải trong sách được đánh dấu (ny).

Lời khuyên dành cho học viên

Học tập cho phép ta thấy được mình trong tương lai, giúp ta mở mang kiến thức, phát triển trí thông minh và cảm thấy tự hào. Do đó, học tập từ sách vở, đặc biệt là sách về tự nhiên, sẽ hiệu quả và thích thú. Hãy tránh xa các phương pháp học tập tệ hại như tránh bệnh dịch! Đừng dùng bút đánh dấu hay viết chì để làm nổi bật hay gạch dưới văn bản trên trang sách. Điều đó làm ta mất thì giờ, không thoải mái và làm cho văn bản trở nên khó đọc. Đừng học từ một màn hình. Đặc biệt, không bao giờ, học từ internet, video, game hay smartphone. Phần lớn internet, video và game là độc dược và ma tuý đối với não bộ. Smartphone là các nhà bào chế ma tuý làm người ta nghiện ngập và không học hành gì được. Không có ai đánh dấu lên trang giấy hay nhìn vào màn hình mà học hành có hiệu quả hay thích thú làm những việc như vậy.

Theo kinh nghiệm học và dạy học của tôi, có một phương pháp học tập để biến đổi một học sinh không đạt thành một học sinh thành công: nếu bạn đọc sách để học tập, hãy tóm tắt các phần đã đọc, *bằng cách đọc thật to bằng ngôn ngữ và hình ảnh riêng của bạn*. Nếu bạn không làm được như vậy, hãy đọc lại phần đó. Lặp lại quá trình này cho đến khi bạn có thể tóm tắt được những gì bạn đã đọc bằng cách trên. *Hãy thưởng thức* niềm vui của việc lớn tiếng kể chuyện! Bạn có thể làm việc này một mình hay với bạn bè, trong một căn phòng hay trong khi đi bộ. Nếu thành công, bạn sẽ giảm được một cách đáng kể thời gian học hành và đọc sách. Bạn sẽ thích thú hơn trong việc học từ những cuốn sách hay và bớt ghét những cuốn sách dở. Người làm chủ được phương pháp này có thể dùng nó ngay trong lúc nghe giảng bài, nhưng hạ thấp giọng, và sẽ tránh được việc ghi bài triền miên.

Lời khuyên dành cho giáo viên

Giáo viên thường thích có học trò và thích hướng dẫn học trò thám hiểm lĩnh vực mà họ đã chọn. Nhiệt tình với công việc là nguyên tắc cơ bản cho sự thoả mãn trong nghề nghiệp. Nếu bạn là một giáo viên, trước khi bắt đầu bài học, hãy tự hình dung, tự cảm nhận và tự nhủ về sự yêu thích chủ đề của bài học; tiếp theo bạn hãy tự hình dung, tự cảm nhận và tự nhủ về cách thức mà bạn sẽ dùng để hướng dẫn học trò của bạn có được sự yêu thích chủ đề đó giống như bạn. Hãy làm việc này một cách có ý thức, mỗi ngày. Bạn sẽ đỡ phải gặp các điều phiền toái trong lớp và thành công nhiều hơn trong việc giảng dạy của mình. Cuốn sách này không viết cho mục đích thi cử mà mục đích của nó là làm cho giáo viên và học sinh *hiểu* và *yêu thích* môn vật lý, khoa học của chuyển động.

Phản hồi

Ấn bản pdf mới nhất của bộ sách này đang và sẽ còn cho bạn đọc download miễn phí từ internet. Tôi rất mong nhận được email từ các bạn tại địa chỉ fb@motionmountain.net, đặc biệt về các vấn đề sau đây:

Câu đố 1 s

— Những điều chưa rõ ràng và nên cải tiến?
— Bạn chưa hiểu câu chuyện, chủ đề, câu đố, hình ảnh hay đoạn film nào?

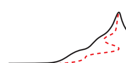
Tôi cũng hân hạnh đón nhận sự góp ý của các bạn về các điểm đặc biệt liệt kê trong trang web www.motionmountain.net/help.html. Mọi phản hồi sẽ được sử dụng để cải tiến ấn bản kế tiếp. Bạn có thể gởi phản hồi bằng mail hay file pdf có thêm các ghi chú màu vàng, hay cung cấp các hình minh hoạ, hình chụp, hay đóng góp vào trang errata wiki trên website. Nếu bạn muốn dịch một chương của cuốn sách sang ngôn ngữ của bạn, vui lòng cho tôi biết.

Thay mặt cho tất cả độc giả, xin cám ơn các bạn trước về những đóng góp này. Đối với những đóng góp đặc biệt hữu ích – nếu bạn muốn – bạn sẽ được ghi nhận trong phần cảm tạ, nhận quà thưởng, hay cả hai.

Trợ giúp

Chúng tôi rất hoan nghênh khi nhận được sự tài trợ từ các bạn cho tổ chức từ thiện, phi lợi nhuận (được miễn thuế) để soạn thảo, dịch thuật và phát hành bộ sách này. Để có thêm chi tiết hãy vào trang web www.motionmountain.net/donation.html. Sở thuế vụ của Đức sẽ kiểm tra việc sử dụng hợp thức nguồn tài trợ của bạn. Nếu bạn muốn, tên của bạn sẽ được ghi trong danh sách các nhà tài trợ. Thay mặt các độc giả trên toàn thế giới, chúng tôi xin cám ơn bạn trước.

Bản in trên giấy của bộ sách này, bản màu hay bản đen trắng, có bán trên www.amazon.com hay www.createspace.com. Và bây giờ, mời bạn thưởng thức cuốn sách.

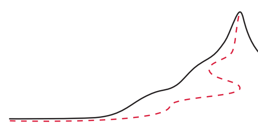


Mục lục



Sự rơi, dòng và nhiệt

Trong cuộc hành trình tìm hiểu quy tắc vận động của sự vật,
kinh nghiệm thám hiểm và kinh nghiệm về các chuyển động
đã khiến cho ta phải đưa ra các khái niệm về
vận tốc, thời gian, chiều dài, khối lượng và nhiệt độ.
Ta học cách sử dụng chúng để *đo sự biến đổi*
và sẽ nhận thấy rằng thiên nhiên đã cực tiểu hoá nó.
Ta sẽ khám phá ra cách để lơ lửng trong không gian tự do,
nguyên do ta có chân thay vì bánh xe,
lý do ta không thể loại bỏ sự mất trật tự
và một trong những bài toán mở khó nhất
trong khoa học là bài toán dòng nước chảy trong ống.



Chương 1

Tại sao ta nên quan tâm đến chuyển động?

> Mọi chuyển động đều là ảo thị.
>
> Zeno of Elea**

Wham! Tia sét mãnh liệt đánh mạnh xuống ngọn cây gần đó đã phá hỏng cuộc dạo chơi trong khu rừng tĩnh mịch của chúng ta khiến cho tim ta đột nhiên đập nhanh hơn. Ta thấy trên đầu ngọn cây, lửa bùng lên rồi lụi tàn đi. Cơn gió nhẹ nhàng len qua cành lá quanh ta, mang không gian trở lại yên bình. Nước trong con sông nhỏ gần đó chảy thành những dòng quanh co đổ xuống thung lũng, trên mặt phản chiếu những bóng hình mây trôi không ngừng nghỉ.

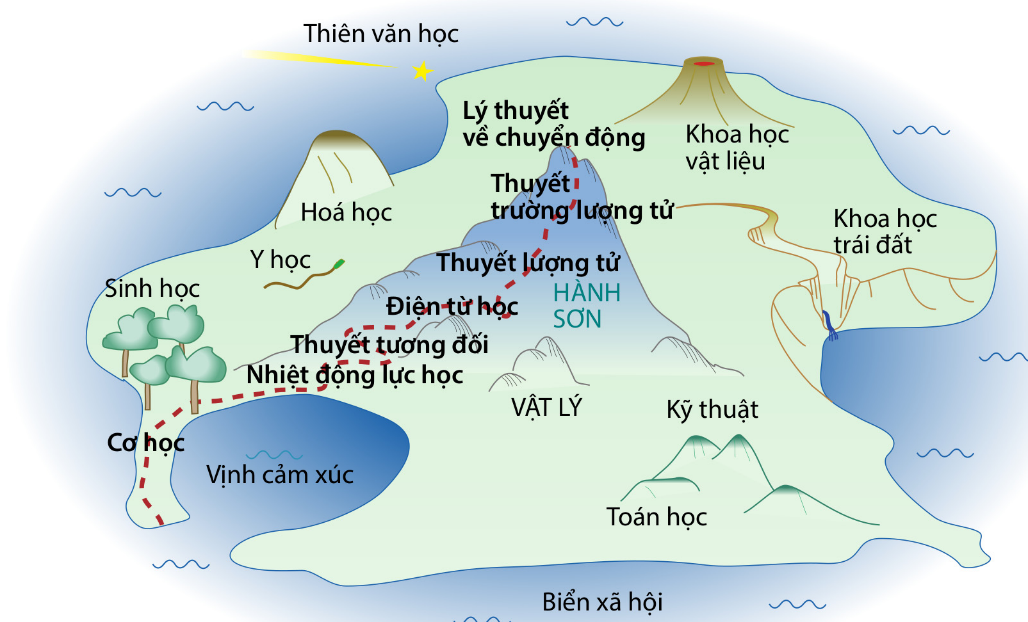
Chuyển động có mặt khắp nơi: thân thiện lẫn đe doạ, kinh khủng và dịu dàng. Nó là nền tảng cho sự hiện hữu của loài người. Chúng ta cần chuyển động để tăng trưởng, học tập, tư duy, duy trì sức khoẻ và thưởng ngoạn cuộc đời. Ta sử dụng chuyển động để băng qua rừng, để lắng nghe tiếng động của nó và để nói về tất cả những điều này. Giống như mọi loài động vật, ta dựa vào chuyển động để kiếm thức ăn và vượt qua nguy hiểm. Giống như mọi sinh vật, ta cần chuyển động để lưu truyền nòi giống, để thở và tiêu hoá. Giống như mọi vật thể, chuyển động giữ cho ta ấm áp.

Chuyển động nhìn chung là một hiện tượng cơ bản nhất trong thiên nhiên. Hoá ra *mỗi điều* xảy ra trên đời đều là một loại chuyển động nào đó. Không có ngoại lệ. Như vậy chuyển động là một phần cơ bản trong sự quan sát của chúng ta và ngay cả nguồn gốc của từ này cũng lạc trong bóng tối của lịch sử ngôn ngữ học Ấn Âu. Sự hấp dẫn của chuyển động đã luôn luôn biến nó thành một đối tượng của sự tò mò được người ta ưa
Xem 1 thích. Vào thế kỷ thứ 5 BCE trong thời cổ Hy Lạp, việc nghiên cứu nó có tên là: *VẬT LÝ*.

Chuyển động cũng quan trọng đối với thân phận con người. Ta có thể biết được điều gì? Thế giới này từ đâu đến? Ta là ai? Ta từ đâu đến? Ta sẽ làm gì? Ta nên làm gì? Tương lai sẽ mang lại điều gì? Cái chết là gì? Cuộc sống sẽ đi về đâu? Tất cả những câu hỏi này đều nói về chuyển động. Và sự nghiên cứu chuyển động sẽ cho ta câu trả lời vừa sâu sắc vừa đáng kinh ngạc.

Xem 2 Chuyển động là điều bí mật. Mặc dù ta thấy nó ở mọi nơi – trong ngôi sao, thuỷ triều, trong mí mắt – nhưng không một nhà tư tưởng hay một người nào khác trong suốt 25 thế kỷ qua có thể vén được tấm màn bí mật này: *chuyển động là gì?* Ta sẽ nhận thấy câu trả lời chuẩn, 'chuyển động là sự thay đổi vị trí theo thời gian', là đúng nhưng không thích hợp. Chỉ vào lúc gần đây câu trả lời đầy đủ mới được tìm ra. Đây là câu chuyện về cách tìm ra câu trả lời đó.

** Zeno of Elea (*c.* 450 BCE), một trong các thành viên chính của trường phái triết học Eleatic.



HÌNH 2 Đảo Kinh nghiệm, với đỉnh Hành Sơn và con đường lên đỉnh.

Chuyển động là một phần kinh nghiệm của con người. Nếu ta tưởng tượng kinh nghiệm là một hòn đảo, số phận được biểu diễn bằng sóng biển, mang chúng ta tới bờ. Gần trung tâm đảo một ngọn núi cao đặc biệt nhô lên. Từ đỉnh ta có thể thấy toàn cảnh và kiếm được ấn tượng về mối liên hệ giữa tất cả kinh nghiệm của con người và đặc biệt giữa các thể hiện khác nhau của chuyển động. Đây là một hướng dẫn lên đỉnh Hành Sơn Trang 8 (xem Hình 2; một phiên bản ít ký hiệu và chính xác hơn được cho trong Hình 1). Cuộc du hành này là một trong các cuộc phiêu lưu kỳ thú nhất của trí tuệ. Câu hỏi đầu tiên là:

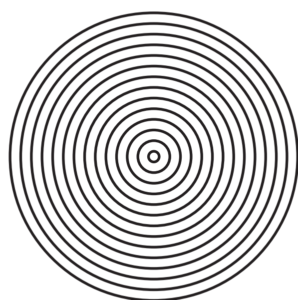
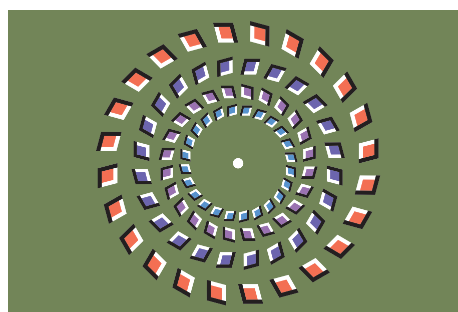
Chuyển động có hiện hữu không?

> *Das Rätsel* gibt es nicht. Wenn sich eine Frage überhaupt stellen läßt, so *kann* sie beantwortet werden.*
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 6.5

Để rèn luyện trí óc cho những bài toán về sự hiện hữu của chuyển động, hãy nhìn vào Xem 3 Hình 3 hay Hình 4 và làm theo hướng dẫn. Trong mọi trường hợp các hình này hình như đang quay. Bạn có thể trải nghiệm các hiệu ứng tương tự nếu bạn đi trên vỉa hè lát đá cuội được xếp đặt thành các hình mẫu uốn vòng cung hay nếu bạn nhìn vào những ảo Xem 4 thị về chuyển động do Kitaoka Akiyoshi sưu tập ở trang www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka. Câu đố 2 s Làm sao bạn có thể khẳng định rằng chuyển động thực khác với các ảo thị này?

Nhiều học giả chỉ đơn giản cho rằng không có chuyển động. Quan điểm của họ ảnh

* 'Không có gì là *bí ẩn*. Nếu một câu hỏi có thể được đặt ra thì nó cũng *có thể* được trả lời.'

HÌNH 3 Ảo thị về chuyển động: hãy nhìn hình bên trái và di chuyển nhẹ tờ giấy hay nhìn vào điểm màu trắng trong hình bên phải và di chuyển đầu tới lui.

Xem 5 hưởng sâu đậm đến sự nghiên cứu chuyển động trong nhiều thế kỷ. Thí dụ như triết gia Hy Lạp Parmenides (sinh năm *c.* 515 BCE ở Elea, một tỉnh nhỏ gần Naples) cho rằng vì không có gì đến từ hư vô nên không có sự thay đổi. Ông nhấn mạnh đến *tính bất biến* Xem 6 của thiên nhiên và vì vậy luôn cho rằng mọi biến đổi và chuyển động đều là ảo thị.

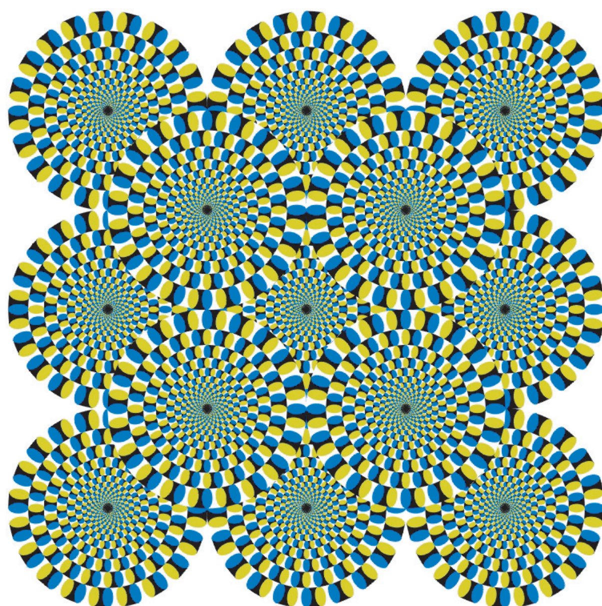
Heraclitus (*c.* 540 tới *c.* 480 BCE) lại quan niệm ngược lại. Ông trình bày ý kiến trong câu phát biểu nổi tiếng πάντα ῥεῖ 'panta rhei' hay 'mọi vật đều chảy'.* Ông xem biến đổi là bản chất của thiên nhiên ngược với Parmenides. Hai ý kiến nổi tiếng như nhau này khiến cho nhiều học giả nghiên cứu thật kỹ lưỡng xem trong thiên nhiên có các đại lượng *bảo toàn* hay có *sự sáng tạo* xảy ra hay không. Ta sẽ tiết lộ câu trả lời sau; từ đây Câu đố 3 s tới đó, bạn có thể cân nhắc sự lựa chọn mà bạn thích.

Cộng sự của Parmenides là Zeno of Elea (born *c.* 500 BCE) đã kịch liệt chống đối chuyển động đến nỗi ngày nay vẫn còn có người bối rối phân vân. Một trong những lập luận mà ông đưa ra – diễn tả một cách đơn giản – là người ta không thể tát một người nào đó vì bàn tay phải đi hết nửa đoạn đường tới mặt của người đó, rồi đi tiếp 1/2 phần còn lại, v.v...; do đó bàn tay không bao giờ tới mặt người kia. Lập luận của Zeno tập trung vào mối liên hệ giữa *vô hạn* và đối lập của nó, hữu hạn, trong việc mô tả chuyển động. Xem 7 Trong Thuyết lượng tử hiện đại, đó vẫn là một chủ đề nghiên cứu cho tới nay.

Zeno cũng cho rằng bằng cách nhìn một vật chuyển động tại một thời điểm *đơn lẻ*, người ta không thể cho rằng vật đó chuyển động. Ông lập luận rằng tại một thời điểm, không có sự khác nhau giữa vật chuyển động và vật đứng yên. Do đó, ông suy ra nếu không có khác nhau tại một thời điểm thì không thể có sự khác nhau trong một thời gian dài. Zeno nêu vấn đề liệu ta có thể phân biệt chuyển động với *đứng yên* hay không. Thật ra, trong lịch sử Vật lý, nhiều tư tưởng gia đã dao động giữa 2 câu trả lời có và không. Nó đúng là câu hỏi khiến Albert Einstein phát triển Thuyết tương đối tổng quát, một trong những đỉnh cao của cuộc hành trình. Trong cuộc thám hiểm của chúng ta, ta sẽ tìm hiểu mọi khác biệt đã biết giữa chuyển động và đứng yên. Dần dần, ta sẽ cả gan đặt câu hỏi về sự hiện hữu của thời điểm. Trả lời được câu hỏi này là điều cốt yếu để có thể lên tới đỉnh Hành Sơn.

Khi ta tìm hiểu Thuyết lượng tử, ta sẽ nhận ra là chuyển động thực sự – trong một phạm vi nào đó – là một ảo thị, như Parmenides đã nói. Nói chính xác hơn, ta sẽ chứng tỏ rằng chuyện quan sát được bắt nguồn từ sự giới hạn trong các điều kiện của con người.

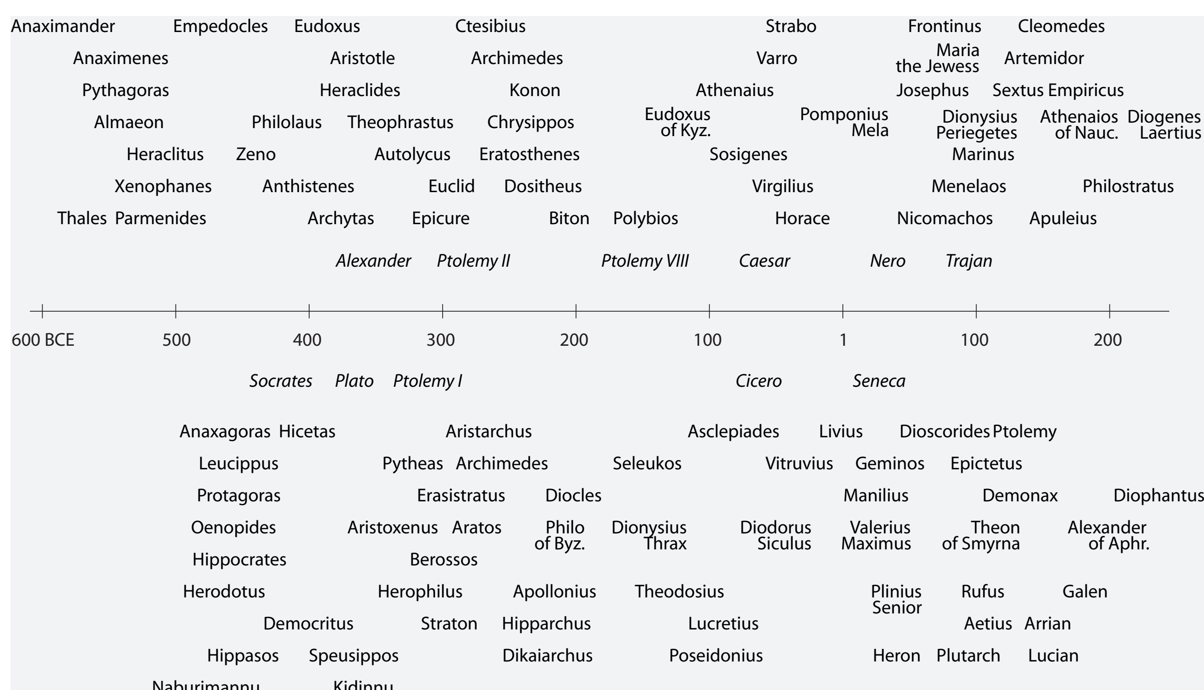
* Phụ lục 16 giải thích cách đọc chữ Hy Lạp.



HÌNH 4 Phóng đại hình này hay đặt gần mắt để có thể thưởng thức được chuyển động biểu kiến của nó (© Michael Bach sau khám phá của Kitaoka Akiyoshi).

Ta sẽ nhận thấy rằng ta cảm nhận được chuyển động chỉ vì
— ta có kích thước hữu hạn,
— ta được cấu tạo từ một số lớn nhưng hữu hạn các nguyên tử,
— ta có nhiệt độ hữu hạn nhưng vừa phải,
— ta chuyển động chậm hơn ánh sáng rất nhiều,
— ta sống trong không gian 3 chiều,
— ta lớn so với hố đen có khối lượng như chúng ta,
— ta lớn so với bước sóng lượng tử của chúng ta,
— ta nhỏ so với vũ trụ,
— ta có hoạt động nhưng trí nhớ hữu hạn,
— não của chúng ta đã ép chúng ta nhận thức không gian và thời gian gần giống như các thực thể liên tục và
— nó cũng ép ta nhận thức thiên nhiên gần giống như được tạo thành từ các phần khác nhau.

Nếu có điều kiện nào không thoả mãn, ta sẽ không quan sát được chuyển động; lúc đó nó sẽ không hiện hữu! Nếu có điều nào không đủ thì ta nên nhớ rằng không có điều kiện đòi hỏi phải là con người; chúng có giá trị như nhau đối với động vật cũng như máy móc. Mỗi điều kiện đều có thể được phát hiện một cách hiệu quả nhất nếu ta bắt đầu từ câu hỏi sau đây:



HÌNH 5 Một bảng niên đại của các nhân vật chính trị trong thời cổ. Ký tự cuối của tên được dóng đứng với năm mất. Thí dụ như Maria the Jewess là người phát minh phương pháp đun cách thuỷ và Thales là toán gia và khoa học gia đầu tiên được biết đến qua một cái tên.

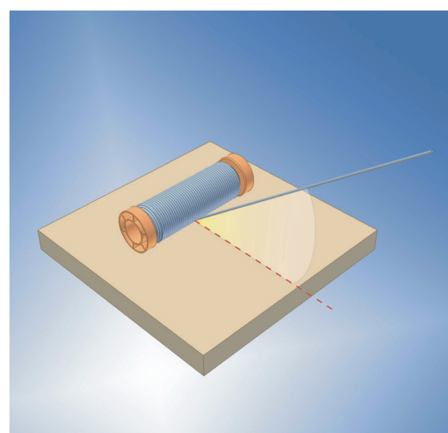
Ta nên nói về chuyển động như thế nào?

> Je hais le mouvement, qui déplace les lignes,
> Et jamais je ne pleure et jamais je ne ris.
> Charles Baudelaire, *La Beauté*.*

Giống như các khoa học khác, cách tiếp cận của Vật lý cũng có 2 phần: ta tiến bộ nhờ *độ chính xác* và *sự tò mò*. Độ chính xác là phạm vi mà sự mô tả của chúng ta khớp với các quan sát. Sự tò mò là niềm đam mê thôi thúc mọi khoa học gia. Sự chính xác làm cho sự truyền đạt có ý nghĩa và sự tò mò làm cho nó có giá trị. Lấy trường hợp hiện tượng thiên thực, một bản nhạc du dương hay một kỳ công tại Thế vận hội: thế giới đầy những
Xem 9
thí dụ quyến rũ về chuyển động.

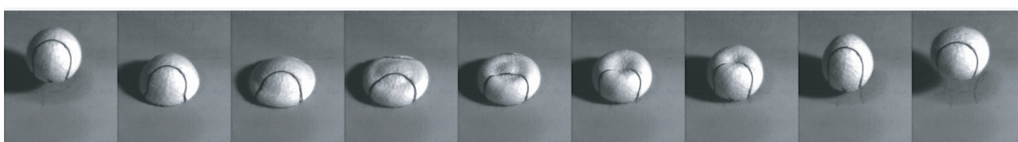
Nếu bạn đã từng nói về chuyển động, dù để tìm hiểu nó chính xác hơn hay sâu hơn, thì bạn cũng đã và đang leo lên đỉnh Hành Sơn rồi. Những thí dụ của Hình 6 đã đi vào vấn để đó. Một cái xô rỗng treo thẳng đứng. Khi bạn đổ một lượng nước vào xô, nó không còn thẳng đứng nữa. (Tại sao?) Nếu bạn tiếp tục đổ thêm nước, nó bắt đầu đứng
Câu đố 4 s
thẳng trở lại. Ta cần bao nhiêu nước cho sự chuyển tiếp này? Hình thứ hai trong Hình 6 dành cho câu đố sau. Khi bạn kéo một sợi chỉ từ một cuộn chỉ như hình vẽ, cuộn chỉ sẽ chuyển động về phía trước hay phía sau tuỳ theo góc kéo. Góc giới hạn giữa 2 trường hợp này là gì?

* Charles Baudelaire (b. 1821 Paris, d. 1867 Paris) *Beauty*: 'Tôi ghét chuyển động, chỉ làm thay đổi hình dạng
Xem 8
chứ không bao giờ làm cho tôi khóc hay cười.'

Câu đố 5 s

HÌNH 6 Cần bao nhiêu nước để xô đứng thẳng? Khi cuộn chỉ (vẽ không đúng vì vành quá nhỏ) đổi hướng chuyển động thì góc kéo của sợi chỉ bằng bao nhiêu? (© Luca Gastaldi).



HÌNH 7 Một thí dụ về độ chính xác của quan sát có thể dẫn tới sự khám phá ra hiệu ứng mới: sự biến dạng của một quả banh tennis trong thời gian c. 6 ms của một cú nảy nhanh (© International Tennis Federation).

Độ chính xác cao đồng nghĩa với việc đi sâu vào các chi tiết tinh tế. Việc hoà hợp tới từng chi tiết sẽ làm cho niềm hoan lạc của cuộc phiêu lưu thực sự *gia tăng*.

* Hình 7 cho ta một thí dụ. Chúng ta càng lên cao trên ngọn Hành Sơn, chúng ta càng nhìn thấy xa và sự tò mò của chúng ta càng được tưởng thưởng nhiều. Quang cảnh mà ta nhìn thấy thật ngoạn mục, đặc biệt là khi đứng ngay trên đỉnh. Con đường mà ta sẽ theo – một trong nhiều khả năng – sẽ bắt đầu từ cạnh sinh học và trực tiếp dẫn vào rừng, nằm ở chân núi.

Xem 10

Sự tò mò cực độ dẫn ta thẳng tới các giới hạn: tìm hiểu chuyển động đòi hỏi thám hiểm ở những nơi xa nhất, vận tốc lớn nhất, hạt nhỏ nhất, lực mạnh nhất, độ chính xác cao nhất và các khái niệm kỳ lạ nhất. Bây giờ chúng ta hãy bắt đầu.

Có những loại chuyển động nào?

> “Mỗi chuyển động đều phát sinh từ một ham muốn thay đổi.”
>
> Cổ nhân

Nơi tốt nhất để ta có thể kiếm được một tổng quan về các loại chuyển động là một thư viện lớn. Bảng 1 cho ta các kết quả. Các lĩnh vực mà trong đó, chuyển động, phong trào hay nước đi đóng vai trò quan trọng có khác nhau. Đã có nhiều nhà nghiên cứu trong

Câu đố 6 s

* Không nên tin người nào khuyên bạn *đừng* nghiên cứu chi tiết. Họ đang cố lừa gạt bạn. Chi tiết là điều quan trọng. Hãy thận trọng trong *cuộc phiêu lưu* này.

BẢNG 1 Nội dung các quyển sách về chuyển động được tìm thấy trong một thư viện công cộng.

Chủ đề chuyển động	Chủ đề chuyển động
Phim và các hiệu ứng số	vận động là liệu pháp cho các bệnh ung thư, tiểu đường, mụn trứng cá và trầm cảm
nhận thức về chuyển động Xem 11	các bệnh về vận động
thể dục dưỡng sinh	vận động khi trầm tư mặc tưởng
điều khiển và huấn luyện vận động trong thể thao và ca hát	khả năng vận động là phương tiện kiểm tra sức khoẻ
chuyển động vĩnh cửu	vận động trong khiêu vũ, âm nhạc và các nghệ thuật trình diễn khác
chuyển động là bằng chứng về thượng đế Xem 12	chuyển động của hành tinh, ngôi sao và thiên thần Xem 13
hiệu quả kinh tế của chuyển động	mối liên hệ giữa các thói quen vận động và cảm xúc
vận động trợ giúp cho việc chữa lành chấn thương	vận động trong tâm lý trị liệu Xem 14
sự vận động của côn trùng, ngựa, động vật và robot	chuyển động của tế bào và thực vật
sự va chạm của nguyên tử, xe cộ, ngôi sao và thiên hà	sự tăng trưởng của các thể đa bào, núi non, vết đen Mặt trời và thiên hà
chuyển động của lò xo, khớp nối, máy móc, chất lỏng và chất khí	chuyển động của lục địa, những đàn chim, bóng tối và không gian trống rỗng
chấn động và bạo lực	vận động trong võ thuật
vận động trong nghị trường	phong trào trong nghệ thuật, khoa học và chính trị
chuyển động trong đồng hồ	biến động trong thị trường chứng khoán
dạy và học dựa trên hoạt động	sự phát triển về vận động trong trẻ em Xem 15
các chương nhạc	hành quân Xem 16
các phong trào tôn giáo	nhu động của ruột
nước đi trong cờ vua	mánh khoé trong casino Xem 17
mối liên hệ giữa tổng sản lượng quốc gia và tính linh động của người dân	

thời cổ Hy Lạp – được liệt kê trong Hình 5 – đã nghi ngờ rằng mọi loại chuyển động, cũng như các loại biến đổi khác, có liên hệ với nhau. Có 3 loại biến đổi thường được người ta ghi nhận:

1. *Sự vận chuyển*. Loại biến đổi duy nhất mà ta gọi là chuyển động trong đời sống thông thường là vận chuyển vật liệu, như một người đi bộ, một chiếc lá rơi từ cành cây, hay một nhạc cụ đang hoạt động. Vận chuyển là sự thay đổi vị trí hay sự đổi hướng của một vật, kể cả chất lỏng. Trong nhiều trường hợp, thái độ của con người cũng thuộc về loại này.

2. *Sự biến đổi*. Một loại biến đổi khác bao gồm các hiện tượng như sự hoà tan của muối trong nước, sự đông đặc của nước, sự mục nát của gỗ, sự nấu nướng thức ăn, sự đông



HÌNH 8 Một thí dụ về sự vận chuyển, ở đỉnh Mount Etna (© Marco Fulle).

máu, sự nóng chảy và luyện kim. Những thay đổi về màu sắc, độ sáng, độ cứng, nhiệt độ và các tính chất vật liệu khác đều là sự biến đổi. Sự biến đổi là các thay đổi mà ta không nhìn thấy sự vận chuyển. Đối với loại này, có một vài tư tưởng gia thời cổ thêm vào sự phát xạ và hấp thu ánh sáng. Vào thế kỷ 20, người ta đã chứng minh hai hiệu ứng này là các trường hợp đặc biệt của sự biến đổi, như trong sự xuất hiện và biến mất của vật chất vừa được khám phá, quan sát thấy trong Mặt trời và hiện tượng phóng xạ. *Những biến đổi tinh thần*, như thay đổi tâm trạng, sức khoẻ, sự giáo dục Xem 18 và tính cách, hầu hết là một loại biến đổi.

Xem 19 3. *Sự tăng trưởng*. Đây là loại biến đổi cuối cùng và đặc biệt quan trọng, được thấy ở động vật, thực vật, vi khuẩn, tinh thể, núi non, hành tinh, ngôi sao và ngay cả thiên hà. Trong thế kỷ 19, sự thay đổi về dân số, *sự tiến hoá sinh học* và trong thế kỷ 20, sự thay đổi kích thước vũ trụ, *sự tiến hoá của vũ trụ*, được thêm vào loại này. Theo truyền thống các hiện tượng này được nghiên cứu trong các khoa học riêng. Người ta đã đi đến kết luận một cách độc lập là sự tăng trưởng là một tổ hợp của sự vận chuyển và sự biến đổi. Sự khác nhau nằm ở chỗ độ phức tạp và thang đo thời gian.

Ở bước khởi đầu của khoa học hiện đại trong thời Trung cổ, chỉ có việc nghiên cứu sự vận chuyển được xem là chủ đề của Vật lý. Chuyển động là vận chuyển. Hai lĩnh vực khác bị các nhà vật lý bỏ qua. Dù bị hạn chế như vậy, lĩnh vực này vẫn khá rộng lớn, bao trùm Trang 16 phần lớn đảo Kinh nghiệm. Các học giả xưa phân biệt 2 loại vận chuyển theo nguồn gốc của chúng. Chuyển động như chuyển động của chân khi đi bộ được phân thành loại *chủ động* vì chúng được lý trí con người điều khiển trong khi chuyển động của các vật thể bên ngoài như chuyển động của tuyết rơi, không phụ thuộc ý chí con người, được phân thành loại *bị động*. Những người trẻ, đặc biệt là nam giới, mất nhiều thời gian trong việc học các vận động chủ động phức tạp. Một thí dụ được trình bày trong Hình 10.

Sự phân biệt hoàn toàn giữa chuyển động bị động và chủ động được trẻ em tuổi lên 6 tạo ra và điều này đánh dấu một bước quan trọng trong sự phát triển của mỗi người



HÌNH 9 Vận chuyển, tăng trưởng và biến đổi (© Philip Plisson).



HÌNH 10 Một trong những hành động chủ động khó khăn nhất, đã được trình diễn bởi Alexander Tsukanov, người đầu tiên có thể thực hiện được việc này: nhảy từ xe một bánh này sang xe một bánh khác (© Moscow State Circus).

hướng về sự mô tả chính xác môi trường chung quanh. * Từ sự phân biệt có nguồn gốc lịch sử nhưng lạc hậu này, Vật lý được định nghĩa là khoa học của chuyển động của các vật vô cơ.

Sự xuất hiện của máy móc buộc các học giả xét lại sự khác nhau giữa các chuyển động chủ động và bị động. Giống như sinh vật, máy móc cũng tự chuyển động và như vậy bắt chước chuyển động chủ động. Tuy vậy, khi xem xét kỹ lưỡng ta sẽ thấy rằng mỗi bộ phận

* Việc không qua khỏi giai đoạn này có thể làm cho một người có những niềm tin kỳ lạ khác nhau, như tin vào khả năng điều khiển banh roulette, mà người ta đã thấy ở một số tay chơi thiếu kiểm soát; hay tin vào khả năng di chuyển vật thể bằng tư tưởng, như ta đã thấy ở nhiều người trông có vẻ khoẻ mạnh. Một báo cáo vui và có nhiều thông tin về sự lừa dối và tự lừa dối liên quan tới việc tạo ra và duy trì những niềm tin kiểu này có trong sách của James Randi, *The Faith Healers*, Prometheus Books, 1989. Là một ảo thuật gia chuyên nghiệp, ông trình bày nhiều chủ đề tương tự trong nhiều quyển sách khác của mình. Cũng nên ghé website www.randi.org của ông để biết thêm thông tin.

của một cái máy được bộ phận khác làm cho chuyển động nên chuyển động của chúng thật ra có tính bị động. Sinh vật có là những cái máy hay không? Hành động của con người có phải là chuyển động bị động không? Việc tích luỹ các quan sát trong 100 năm qua đã làm cho ta thấy rõ rằng chuyển động chủ động * đúng ra cũng có các tính chất vật lý giống như chuyển động bị động trong các hệ vô cơ. Như vậy việc phân biệt không cần thiết. Dĩ nhiên là theo quan điểm cảm xúc, sự khác nhau là quan trọng; thí dụ như Xem 20 *sự duyên dáng* chỉ có thể gán cho các chuyển động chủ động.

Vì chuyển động bị động và chủ động có cùng tính chất nên thông qua việc nghiên cứu chuyển động của các vật vô cơ ta có thể biết nhiều điều về con người. Điều này sẽ trở nên hiển nhiên khi ta bàn đến các chủ đề tất định luận, tính nhân quả, xác suất, sự vô hạn, thời gian, tình yêu và cái chết, tuy có nhiều nhưng ta chỉ gặp vài chủ đề trong cuộc phiêu lưu này.

Trong thế kỷ 19 và 20 nhiều niềm tin cổ điển khác về chuyển động đã bị gạt bỏ. Việc quan sát được mở rộng cho ta thấy rằng mọi sự biến đổi và mọi hiện tượng tăng trưởng, bao gồm sự thay đổi tập tính và sự tiến hoá, cũng là sự vận chuyển. Nói cách khác, hơn 2 000 năm nghiên cứu đã chứng tỏ rằng sự phân loại hiện tượng theo kiểu cổ là vô dụng:

▷ Mọi biến đổi đều là sự vận chuyển.

và

▷ Vận chuyển và chuyển động giống như nhau.

Vào giữa thế kỷ 20, người ta đã tập trung nghiên cứu nhằm khẳng định bằng thực nghiệm, một ý tưởng đặc biệt mà trước kia đã được người cổ Hy Lạp phát biểu:

▷ Mọi loại biến đổi đều bắt nguồn từ sự chuyển động của các hạt.

Người ta đã mất nhiều thời gian và công sức để đi đến kết luận này, một kết luận mà ta chỉ tìm thấy được khi không ngừng theo đuổi các độ chính xác ngày càng cao trong việc mô tả thiên nhiên. Năm phần đầu của bộ sách này lần theo con đường đi đến kết quả Câu đố 7 s này. (Bạn có đồng ý với kết luận đó không?)

Thập niên cuối thế kỷ 20 lại thay đổi hoàn toàn sự mô tả về chuyển động: ý tưởng hạt hoá ra có hạn chế và không đúng. Người ta đạt được kết quả mới này thông qua việc kết hợp các quan sát và suy diễn thận trọng, sẽ được tìm hiểu trong phần cuối của cuộc thám hiểm. Nhưng ta vẫn còn một số con đường để đi qua trước khi đạt được kết quả đó, đúng ngay bên dưới đỉnh Hành Sơn.

Tóm lại, lịch sử đã cho ta thấy rằng sự phân loại chuyển động không có lợi. Chỉ cần cố gắng đạt được độ chính xác cao nhất thì ta đã có thể hy vọng tìm được các tính chất cơ bản của chuyển động. *Chỉ có độ chính xác, chứ không phải sự phân loại, là con đường mà ta phải theo.* Như Ernest Rutherford đã nói đùa rằng: ‘Mọi khoa học đều là Vật lý hoặc là sự sưu tầm tem.’

* Từ ‘movement’ khá mới; nó được du nhập vào tiếng Anh từ tiếng Pháp cổ và chỉ trở nên phổ biến vào cuối thế kỷ 18. Shakespeare không bao giờ sử dụng từ này.



Để đạt được độ chính xác trong việc mô tả chuyển động, ta cần chọn những thí dụ đặc biệt về chuyển động và nghiên cứu nó thật đầy đủ. Điều hiển nhiên là ta chỉ có thể đạt được sự mô tả chính xác nhất đối với các thí dụ *đơn giản nhất*. Trong đời sống thông thường, đây là trường hợp đối với chuyển động của một vật rắn vô cơ trong môi trường chung quanh ta, như một hòn đá ném xuyên qua không khí. Thật vậy, giống như mọi con người, ta đã học ném các vật trước khi ta biết đi bộ rất lâu. Ném là một trong các thí nghiệm vật lý đầu tiên mà ta tự thực hiện. Sự quan trọng của việc ném cũng được thấy từ các thuật ngữ dẫn xuất từ nó: trong tiếng Latin, những từ như *subject* hay 'ném xuống', *object* hay 'ném ra phía trước' và *interjection* hay 'ném vô giữa'; trong tiếng Hy Lạp, hành động ném dẫn tới các thuật ngữ như *symbol* hay 'ném lẫn nhau', *problem* hay 'ném ra phía trước', *emblem* hay 'ném vào' và – cuối cùng nhưng không phải là ít nhất – *devil* hay 'ném xuyên qua'. Và thật vậy, trong thời niên thiếu, bằng cách ném đá, đồ chơi hay đồ vật cho tới khi cha mẹ chúng ta lo lắng cho đồ đạc trong nhà, ta đã tìm hiểu về sự nhận thức và các tính chất của chuyển động. Ở đây chúng ta cũng làm điều tương tự như vậy.

Xem 21

> “Die Welt ist unabhängig von meinem Willen.* ”
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 6.373

Sự nhận thức, sự vĩnh cửu và sự thay đổi

> “Chỉ có những người yếu đuối mới nghiên cứu các trường hợp tổng quát; khoa học gia thực sự theo đuổi các trường hợp đặc biệt. ”
> Beresford Parlett

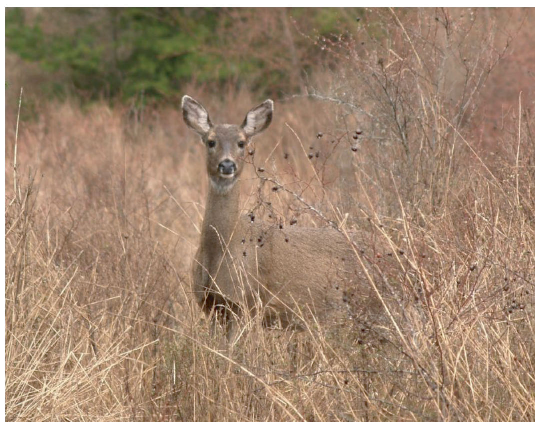
Loài người hưởng thụ sự nhận thức. Sự nhận thức bắt đầu trước khi sinh và ta hưởng thụ nó suốt đời. Đó là lý do TV, ngay cả khi nội dung rỗng tuếch, cũng vẫn thành công. Trong cuộc dạo chơi xuyên qua rừng dưới chân đỉnh Hành Sơn ta không thể tránh khỏi sự nhận thức. Nhận thức trước hết là khả năng *phân biệt*. Ta sử dụng các hoạt động phân biệt cơ bản gần như không ngừng nghỉ; thuở ấu thơ ta học cách phân biệt giữa các quan sát tương tự và khác nhau. Điều này có thể làm được nhờ khả năng kết hợp với các khả năng cơ bản khác, như khả năng *ghi nhớ* các kinh nghiệm. Ký ức cho chúng ta khả năng trải nghiệm, đối thoại và khám phá thiên nhiên. Nhận thức, phân loại và ghi nhớ tạo thành *khả năng học tập*. Không có một trong 3 khả năng này ta không thể nghiên cứu về chuyển động.

Trẻ em nhanh chóng biết cách phân biệt *sự vĩnh cửu* với *sự thay đổi*. Chúng biết cách *nhận ra* các khuôn mặt người, mặc dù các khuôn mặt không phải luôn luôn nhìn giống như nhau. Từ việc nhận diện, trẻ em mở rộng khả năng nhận biết sang các hiện tượng khác. Khả năng nhận biết hoạt động hiệu quả trong đời sống hằng ngày; nó hữu dụng trong việc nhận biết bạn bè, ngay cả vào ban đêm và sau vài ly bia (mà không có gì khó khăn). Hoạt động nhận biết luôn luôn luôn sử dụng các dạng *khái quát hoá*. Khi ta quan sát, ta luôn có một số ý tưởng tổng quát trong đầu. Ta hãy xác định các ý tưởng chính này.

Ngồi trên thảm cỏ trong một khu rừng thưa ở chân Hành Sơn, chung quanh là cây cối và sự tĩnh mịch bao phủ chúng ta bằng một cảm giác êm đềm và tĩnh lặng. Ta đang nghĩ

* 'Thế giới này độc lập với ý chí của tôi.'





HÌNH 11 Làm cách nào để ta phân biệt con nai với môi trường chung quanh? (© Tony Rodgers).

về bản chất của nhận thức. Bỗng nhiên, có một vật chuyển động trong bụi rậm; lập tức ta đảo mắt và chuyển sự chú ý về phía đó. Các tế bào thần kinh phát hiện chuyển động là phần cổ xưa nhất của não bộ, cũng có ở chim và loài bò sát: thân não. Rồi vỏ não, hay phần não mới, nhận công việc phân tích loại chuyển động và nhận diện nguồn gốc của nó. Khi quan sát chuyển động trong thị trường, ta thấy 2 thực thể bất biến: phong cảnh cố định và động vật chuyển động. Sau khi ta nhận ra động vật thí dụ như một con nai, ta thư giãn trở lại.

Xem 22

Làm cách nào để ta phân biệt, trong trường hợp của Hình 11, giữa phong cảnh và con nai? Sự nhận thức liên quan tới nhiều quá trình trong mắt và trong não bộ. Phần cốt yếu của các quá trình này là chuyển động, được suy ra từ đoạn film lật nằm ở góc dưới bên trái của trang này. Mỗi hình chỉ cho ta thấy một hình chữ nhật chứa đầy các kiểu thức ngẫu nhiên. Nhưng khi các trang này được quét qua với tốc độ nhanh, bạn có thể thấy rõ một hình ảnh – một hình vuông – chuyển động trên một nền cố định. Ở mỗi thời điểm đã cho, ta không thể phân biệt hình vuông với hình nền; tại mỗi thời điểm ta không thấy một hình ảnh nào. Tuy vậy ta dễ dàng nhận ra chuyển động của hình vuông.* Các thí nghiệm về nhận thức tương tự đã được thực hiện dưới nhiều hình thức khác nhau. Các thí nghiệm như vậy chứng tỏ rằng việc phát hiện một hình vuông chuyển động đối với một hình nền ngẫu nhiên không phải là điều đặc biệt dành cho con người; ruồi cũng có khả năng tương tự và đúng ra là mọi động vật có mắt.

Xem 23

Đoạn film lật ở góc dưới bên trái trang sách cũng giống như nhiều thí nghiệm tương tự, minh hoạ cho 2 thuộc tính quan trọng của chuyển động. Đầu tiên, ta chỉ có thể nhận biết chuyển động nếu *vật* có thể phân biệt được với *nền* hay *môi trường*. Nhiều ảo thị về chuyển động tập trung vào điểm này.** Thứ hai, cần phải có chuyển động để *xác định* cả vật lẫn môi trường và để phân biệt chúng với nhau. Đúng ra khái niệm không gian là

* Mắt người phát hiện chuyển động khá tốt. Thí dụ như mắt có thể phát hiện chuyển động của một điểm sáng ngay cả khi góc thay đổi nhỏ hơn góc phân giải trong một hình cố định. Chi tiết về điều này và các chủ đề tương tự đối với các giác quan khác là lĩnh vực nghiên cứu về sự nhận thức.

Xem 11

** Chủ đề nhận thức chuyển động có nhiều tính chất thú vị. Một thí dụ tuyệt vời là chương 6 của quyển sách đẹp đẽ của Donald D. Hoffman, *Visual Intelligence – How We Create What We See*, W.W. Norton & Co., 1998. Bạn có thể trải nghiệm và khám phá bộ sưu tập các ảo thị chuyển động cơ bản của ông trên website www.cogsci.uci.edu/~ddhoff.



sự trừu tượng hoá ý tưởng hình nền. Nền thì trải rộng; thực thể chuyển động thì định xứ. Điều này nghe có vẻ chán quá? Không đâu; bạn hãy chờ một chút.

Ta gọi một thực thể đang xem xét, định xứ mà lại có thể biến đổi hay chuyển động, là một *hệ vật lý* – hay đơn giản là một hệ. Hệ là một phần không đổi của thiên nhiên mà ta có thể nhận biết được. Hệ có thể là các vật thể – 'vật thể vật lý' – hay bức xạ. Do đó hình ảnh, được tạo thành từ bức xạ, là những phương diện của các hệ vật lý nhưng không phải là các hệ vật lý. Các mối liên hệ này được tóm tắt trong Bảng 2. Còn các lỗ
Câu đố 8 s
hổng có phải là các hệ vật lý không?

Nói cách khác, ta gọi tập hợp các tính chất định xứ bất biến hay không đổi trong chuyển động, như kích thước, hình dạng, màu sắc..., là một *vật thể* hay một *vật* (vật lý). Ta sẽ định nghĩa chặt chẽ hơn để phân biệt vật và hình ảnh.

Ta nên nhớ rằng để xác định các vật chuyển động ta cần phân biệt chúng với môi trường. Nói cách khác, ngay từ đầu ta đã cảm nhận chuyển động là một quá trình *tương đối*; ta nhận thức chuyển động qua mối quan hệ và sự đối chiếu với môi trường.

Sự phân biệt về mặt khái niệm giữa vật cô lập, định xứ và môi trường linh hoạt là
Câu đố 9 s
điều quan trọng. Đúng ra có một định nghĩa lòng vòng ở đây. (Bạn có đồng ý không?)
Trang 437
Thật vậy, vấn đề này khiến cho ta bận rộn không ít. Mặt khác, ta đã quá quen với khả năng phân biệt các hệ địa phương với môi trường đến nỗi ta xem đó là một điều hiển nhiên. Tuy vậy, như ta sẽ thấy sau đây, sự phân biệt này hoá ra không hợp lý và không thể kiểm chứng bằng thực nghiệm! * Lý do của điều này khá kỳ lạ. Để phát hiện tính bất
Quyển VI, trang 85
khả, bước đầu tiên là tách rời thực thể chuyển động và nền cố định, và ta cần mô tả mối quan hệ giữa chúng. Các khái niệm cần thiết được tóm tắt trong Bảng 2.

> Sự thông thái là: hiểu được những tư tưởng lèo lái mọi vật xuyên qua các vật khác.
>
> Heraclitus of Ephesus

Xem 24

Thế giới có cần các trạng thái không?

> Das Feste, das Bestehende und der Gegenstand sind Eins. Der Gegenstand ist das Feste, Bestehende; die Konfiguration ist das Wechselnde, Unbeständige.**
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 2.027 – 2.0271

Điều gì phân biệt các kiểu thức khác nhau ở góc trang sách này? Trong đời sống hằng ngày ta sẽ nói: trạng thái hay cấu hình của các thực thể có liên quan. Trạng thái ít nhiều gì đó cũng mô tả tất cả các tính chất có thể thay đổi theo từng trường hợp. Người ta thường gọi danh sách của tất cả các tính chất *thay đổi* của tập hợp các vật thể là *trạng thái (vật lý) của chuyển động* của chúng hay đơn giản là *trạng thái*. Làm cách nào để mô tả các trạng thái?

Trước tiên, cấu hình của các kiểu thức ở góc quyển sách khác nhau theo *thời gian*. Thời gian là yếu tố tạo ra sự đối lập: một đứa trẻ vừa ở trong nhà vừa ở ngoài sân. Thời gian mô tả và giải quyết kiểu mâu thuẫn này. Nhưng trạng thái không chỉ là phân biệt

* Trái với những điều ta thường đọc được trên sách báo, sự phân biệt *có thể* xảy ra trong Thuyết lượng tử. Ta chỉ không thể phân biệt khi Thuyết lượng tử hợp nhất cùng Thuyết tương đối tổng quát.
** 'Sự không đổi, sự hiện hữu và vật thể là một. Vật thể thì không đổi và hiện hữu; cấu hình thì thay đổi, biến đổi.'



BẢNG 2 Gia phả của các khái niệm vật lý cơ bản.



tình trạng theo thời gian: trạng thái chứa *mọi* tính chất của một *hệ thống* – tức là một nhóm các vật thể – làm cho nó khác với các hệ *tương tự*. Tại một thời điểm, hai vật tương tự có thể khác nhau về

— vị trí,
— vận tốc,
— hướng, hay
— vận tốc góc.

Những tính chất này xác định trạng thái và *cá tính* của hệ vật lý với *các bản sao chính xác* của nó. Nói cách khác, phát biểu này mô tả mối quan hệ của một vật hay một hệ với môi trường. Hay có thể nói:

▷ *Trạng thái* mô tả mọi tính chất của một hệ, phụ thuộc vào quan sát viên.

Câu đố 10 s

Định nghĩa trạng thái không nhạt nhẽo chút nào cả – chỉ cần suy nghĩ về điều này: *Vũ trụ* có trạng thái hay không? Và danh sách các tính chất mô tả trạng thái đã cho có *đầy đủ* chưa?

Ngoài ra, các hệ vật lý còn được mô tả bằng các *tính chất nội tại*, không đổi của nó.



Một số thí dụ là
— khối lượng,
— hình dạng,
— màu sắc,
— cấu tạo.
Các tính chất nội tại không phụ thuộc quan sát viên và độc lập với trạng thái của hệ. Chúng không đổi – ít nhất trong một khoảng thời gian nào đó. Các tính chất nội tại cũng cho phép ta phân biệt các hệ vật lý với nhau. Và ta cũng có thể hỏi: danh sách *đầy đủ* của các tính chất nội tại trong thiên nhiên là gì? Và vũ trụ có tính chất nội tại không?

Câu đố 11 s

Các tính chất khác nhau của vật thể và các trạng thái của chúng được gọi là *các biến động lực* (vật lý). Ta sẽ trau chuốt lại định nghĩa thô ráp và sơ lược này sau.

Việc mô tả thiên nhiên như một tập hợp các thực thể không đổi và các trạng thái thay đổi là khởi điểm của việc nghiên cứu về chuyển động. Mọi quan sát về chuyển động đòi hỏi sự phân biệt các tính chất nội tại không đổi – mô tả các vật thể chuyển động – và các trạng thái thay đổi – mô tả phương thức chuyển động của vật. Không có sự phân biệt này, không có chuyển động và không có ngay cả cách *nói* về chuyển động.

Sử dụng các thuật ngữ vừa đề cập, ta có thể nói

▷ Chuyển động là sự thay đổi trạng thái của các vật không đổi.

Sự phân định giữa các tính chất thuộc về vật thể, các *tính chất nội tại* không đổi và các tính chất thuộc về trạng thái, các *tính chất trạng thái* thay đổi, phụ thuộc vào độ chính xác của quan sát. Thí dụ như chiều dài của một mảnh gỗ không đổi; gỗ co rút và cong đi theo thời gian, bắt nguồn từ các quá trình phân tử. Nói cho chính xác thì chiều dài mảnh gỗ không phải là tính chất của vật thể mà là tính chất trạng thái của nó. Như vậy các quan sát chính xác chỉ *dịch chuyển* sự phân biệt giữa vật thể và trạng thái của nó; sự phân biệt không biến mất – ít nhất là trong năm quyển đầu của bộ sách này.

Cuối thế kỷ 20, khoa học thần kinh đã khám ra rằng sự phân biệt giữa các trạng thái thay đổi và các vật thể không đổi không chỉ là công việc của các nhà khoa học và kỹ sư. Thiên nhiên cũng làm công việc đó. Đúng ra thiên nhiên đã thiết kế sẵn sự phân biệt trong não bộ! Bằng cách sử dụng các tín hiệu xuất từ vùng thị giác ở vỏ não chuyên xử lý các thông tin do mắt cung cấp, phần kề với phần não *trên* – *đường lưng* – xử lý các *trạng thái* của vật được thấy, như khoảng cách và chuyển động của chúng, trong khi phần kề với phần *dưới* của não – *đường bụng* – xử lý *các tính chất nội tại*, như hình dạng, màu sắc và kiểu thức.

Tóm lại, thực sự các trạng thái rất cần cho sự mô tả chuyển động. Các tính chất nội tại không đổi cũng vậy. Để tiến hành và đạt được một sự mô tả chuyển động *đầy đủ*, ta cần một sự mô tả đầy đủ các trạng thái khả hữu và các tính chất nội tại của vật. Cách tiếp cận đầu tiên cố gắng đạt tới điều này được gọi là Vật lý Galilei; nó bắt đầu bằng cách xác định môi trường *thông thường* quanh ta và sự chuyển động trong môi trường đó thật chính xác.



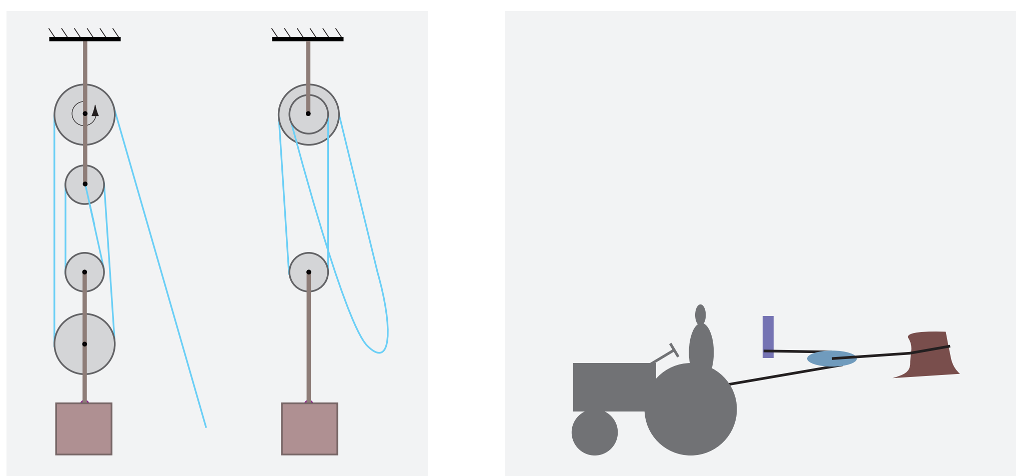
Vật lý Galilei qua 6 phát biểu thú vị

Việc nghiên cứu chuyển động hằng ngày, Vật lý Galilei, cũng bõ công: ta sẽ phát hiện được nhiều kết quả tương phản với kinh nghiệm thông thường. Thí dụ như nếu ta ôn lại quá khứ, thì ai cũng có kinh nghiệm là *sự kinh ngạc* quan trọng, thú vị hay khó chịu như thế nào rồi. Tuy vậy, việc nghiên cứu về chuyển động thông thường cho ta thấy rằng *không có* sự kinh ngạc trong thiên nhiên. Chuyển động và thế giới *có thể tiên đoán được* hay có tính *tất định*.

Điều ngạc nhiên chính trong việc tìm hiểu chuyển động là không có sự ngạc nhiên trong thiên nhiên. Thiên nhiên có thể tiên đoán được. Đúng ra ta sẽ tìm được 6 phương diện của tính tiên đoán được của chuyển động thông thường:

1. *Tính liên tục.* Ta đã biết rằng mắt, máy ảnh và các dụng cụ đo lường có độ phân giải hữu hạn. Các vật đó đều có các khoảng cách nhỏ nhất mà chúng có thể quan sát được. Ta đã biết là đồng hồ chỉ có thể đo được một thời khoảng nhỏ nhất nào đó. Dù có những giới hạn như vậy, trong tất cả các chuyển động thông thường, trạng thái của chúng, cũng như không gian và thời gian đều *liên tục*.
2. *Tính bảo toàn.* Tất cả chúng ta đều thấy rằng con người, âm nhạc hay nhiều vật khác khi chuyển động đều ngừng lại sau một khoảng thời gian nào đó. Việc nghiên cứu lại cho một kết quả trái ngược: chuyển động không bao giờ ngừng. Đúng ra, mọi chuyển động đều có 3 tính chất không thay đổi tức *bảo toàn*, một cách riêng rẽ: động lượng, moment động lượng và năng lượng. Không có ngoại lệ cho 3 đại lượng này. (Trái lại, khối lượng thường nhưng không luôn luôn được bảo toàn.) Ngoài ra, ta sẽ khám phá ra rằng sự bảo toàn hàm ý rằng chuyển động và các tính chất của nó đều giống nhau ở mọi nơi và mọi lúc: chuyển động có *tính phổ quát*.
3. *Tính tương đối.* Chúng ta đều biết rằng chuyển động khác với đứng yên. Dù đã có kinh nghiệm này, việc nghiên cứu kỹ lưỡng cho ta thấy rằng không có sự khác nhau giữa hai hiện tượng. Chuyển động và đứng yên tuỳ thuộc người quan sát. Chuyển động có *tính tương đối*. Và đứng yên cũng vậy. Đây là bước đầu hướng đến sự tìm hiểu về Thuyết tương đối.
4. *Tính thuận nghịch.* Chúng ta ai cũng đã thấy nhiều quá trình xảy ra chỉ theo một chiều. Thí dụ như sữa đã đổ không bao giờ chảy ngược vào bình chứa. Dù vậy, việc nghiên cứu chuyển động cho ta thấy rằng mọi chuyển động thông thường đều có *tính thuận nghịch*. Các vật lý gia gọi tính bất biến này là *sự đảo ngược chuyển động*. Có một số người thường nói một cách tuỳ tiện nhưng không đúng là 'sự đảo ngược thời gian'.
5. *Tính bất biến gương.* Nhiều người trong chúng ta cảm thấy khó khăn trong việc sử dụng kéo bằng tay trái hay viết bằng tay khác và đã trưởng thành với trái tim nằm bên trái. Dù vậy, việc tìm hiểu sẽ cho ta thấy rằng mọi chuyển động thông thường đều có *tính bất biến gương* (hay *tính bất biến chẵn lẻ*). Các quá trình gương luôn có thể xảy ra trong đời sống hằng ngày.
6. *Tính cực tiểu hoá biến đổi.* Tất cả chúng ta đều ngạc nhiên trước nhiều điều quan sát được trong thiên nhiên: màu sắc, hình dạng, âm thanh, sự tăng trưởng, tai hoạ, hạnh phúc, tình bạn, tình yêu. Sự đa dạng, vẻ đẹp và sự phức tạp của thiên nhiên làm cho ta sửng sốt. Ta sẽ chứng minh rằng mọi điều quan sát được đều bắt nguồn từ sự chuyển động. Và mặc dù nhìn bề ngoài có vẻ phức tạp, mọi chuyển động đều đơn





HÌNH 12 Một hệ ròng rọc và một ròng rọc vi sai (hình bên trái) và một nông dân (hình bên phải).

giản. Có thể tóm lược trong một câu ngắn gọn: Thiên nhiên rất lười. Mọi chuyển động đều xảy ra theo xu hướng *cực tiểu hoá biến đổi*. Độ biến đổi có thể đo được bằng cách sử dụng một đại lượng gọi là 'tác dụng' và thiên nhiên luôn giữ cho nó cực tiểu. Tình trạng – hay trạng thái, như các nhà vật lý thích nói – tiến hoá bằng cách cực tiểu hoá biến đổi. Thiên nhiên rất lười.

Sáu tính chất này là những điều cốt yếu trong việc tìm hiểu chuyển động trong thể thao, âm nhạc, động vật, máy móc hay giữa các ngôi sao. Quyển đầu tiên này sẽ dành cho việc tìm hiểu những chuyển động như vậy. Đặc biệt, ta sẽ chứng minh, chống lại các biểu hiện mâu thuẫn với 6 tính chất then chốt đã nêu trong mọi trường hợp của chuyển động thông thường.

Các câu đố vui và lạ về chuyển động

*

Khác với phần lớn các loài động vật, các sinh vật định cư, như cây cối hay hải quỳ, không có chân và không thể di chuyển nhiều; để tự phòng vệ, chúng tạo ra *độc chất*. Ta có thể kể: cây tầm ma có gai, cây thuốc lá, mao địa hoàng, cà độc dược và cây anh túc; độc chất bao gồm caffeine, nicotine và curare. Những độc chất này là chất cơ bản của nhiều dược phẩm. Do đó, nhiều dược phẩm có mặt chủ yếu là nhờ thực vật không có chân.

* *

Một người leo núi từ 9h sáng tới 1h chiều. Anh ta ngủ trên đỉnh núi và đi xuống vào ngày hôm sau, cũng từ 9h sáng tới 1h chiều. Có nơi nào trên đường mà anh ta đi qua cùng một giờ trong hai ngày không?

Câu đố 12 s

* Các phần có tiêu đề 'kỳ lạ' là tập hợp các vấn đề và bài toán cho phép ta kiểm tra và mở rộng sự ứng dụng của các khái niệm đã được giới thiệu.



* *

Mỗi lần bong bóng xà bông vỡ tan, chuyển động của mặt bong bóng trong khi vỡ đều giống nhau, mặc dù nó xảy ra nhanh đến nỗi mắt không thể nhìn kịp. Bạn có thể hình dung được các chi tiết không?

Câu đố 13 s

* *

Câu đố 14 s

Chuyển động của một con ma có phải là một thí dụ về chuyển động không?

* *

Câu đố 15 s

Có vật nào có thể ngừng chuyển động không? Bạn có thể chứng minh điều đó không?

* *

Một vật chuyển động mãi mãi theo một đường thẳng có chứng tỏ rằng thiên nhiên hay không gian là vô hạn không?

Câu đố 16 s

* *

Chiều dài dây mà ta phải kéo để nhấc một vật lên một độ cao *h* bằng một bộ ròng rọc 4 bánh xe, như ta thấy ở bên trái của Hình 12? Điều mà người nông dân ở hình bên phải đang làm có hợp lý hay không?

Câu đố 17 s

Trong quá khứ, bộ ròng rọc đóng vai trò quan trọng trong nhiều máy móc. Hai loại đặc biệt hữu dụng là bộ ròng rọc *vi sai*, rất dễ chế tạo và *bộ ròng rọc kép Tây Ban Nha*, có hiệu suất cực đại với số bánh xe tối thiểu. Có cả loại có tên là *'ròng rọc của gã khờ'*. Hãy hưởng thụ niềm vui khi tìm hiểu chúng.

Xem 25
Câu đố 18 e

Tất cả các thiết bị này đều là thí dụ của *quy luật vàng của cơ học*: bạn lợi về lực thì phải thiệt về độ dời. Hay: lực * độ dời – còn gọi là *công* (vật lý) – không đổi, bất kể bạn sử dụng máy móc cơ học nào.

* *

Câu đố 19 s

Vũ trụ có thể chuyển động không?

* *

Để nói một cách chính xác về sự chính xác ta cần đo độ chính xác. Bạn làm điều đó như thế nào?

Câu đố 20 s

* *

Câu đố 21 s

Ta có thể quan sát được chuyển động khi ta không có trí nhớ không?

* *

Câu đố 22 s

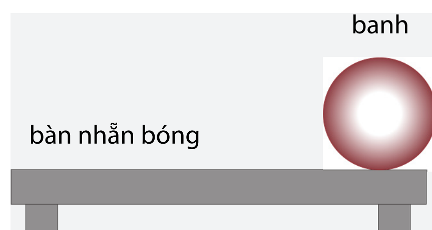
Tốc độ nhỏ nhất mà bạn đã quan sát được là bao nhiêu? Có tốc độ nhỏ nhất trong thiên nhiên không?

* *

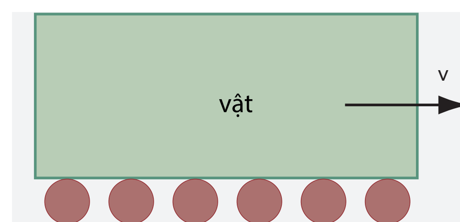
Theo truyền thuyết, Sissa ben Dahir, nhà phát minh trò chơi *chaturanga* hay cờ vua, đã xin Vua Shirham ban cho phần thưởng sau đây nhờ phát minh của mình: một hạt lúa mì cho ô vuông đầu tiên của bàn cờ, 2 cho ô thứ nhì, 4 cho ô thứ 3, v.v... Các cánh đồng lúa mì trên thế giới phải sản xuất trong bao lâu để có đủ số lúa cần thiết?

Câu đố 23 s





HÌNH 13 Điều gì sẽ xảy ra?



HÌNH 14 Tốc độ của các con lăn là bao nhiêu? Con lăn có thể có hình dạng khác không?

* *

Khi một cây nến đang cháy chuyển động, ngọn lửa bị kéo lùi ra sau. Ngọn lửa sẽ như thế nào nếu được đặt trong một cái ly có gia tốc và chưa tắt? Câu đố 24 s

* *

Có một cách kiếm tiền khá tốt là chế tạo máy phát hiện chuyển động. Máy này là một hộp nhỏ với vài sợi dây. Hộp tạo ra một tín hiệu điện khi nó di chuyển. Bạn có thể nghĩ ra một loại máy nào không? Chiếc hộp đó rẻ và chính xác đến cỡ nào? Câu đố 25 d

* *

Một quả cầu nằm gần cạnh của một mặt bàn phẳng, không ma sát, nằm ngang như trong Hình 13. Điều gì sẽ xảy ra? Trong thang đo thời gian nào? Câu đố 26 d

* *

Bạn đứng vào một hộp kín, không cửa sổ. Một ngoại lực mà bạn không biết rõ làm hộp chuyển động. Từ trong hộp bạn có thể xác định được là bạn đang chuyển động *như thế nào* không? Câu đố 27 s

* *

Khi một vật được lăn trên sàn nhà nhờ một số hình trụ như trong Hình 14, thì tốc độ của vật và của các con lăn liên hệ với nhau như thế nào? Câu đố 28 s

* *

Xem 18

Bạn có ghét công thức không? Nếu có bạn hãy sử dụng phương pháp dài 3 phút sau đây để cải thiện tình trạng này. Việc này rất đáng để thử vì nó sẽ giúp bạn thưởng thức quyển sách này nhiều hơn. Cuộc đời rất ngắn; đọc quyển sách này thật nhiều cũng sẽ là một điều hỷ lạc. Câu đố 29 s

1. Hãy nhắm mắt và nhớ lại một trải nghiệm *tuyệt diệu*, một tình huống mà bạn cảm thấy phấn khích, tò mò và lạc quan.
2. Mở mắt trong một hai giây và nhìn vào Trang 280 – hay một trang khác có nhiều công thức.
3. Sau đó nhắm mắt trở lại với trải nghiệm tuyệt vời trước đó.
4. Lặp lại việc quan sát các công thức và việc hình dung trong ký ức – bước 2 và 3 – 3 lần nữa.



Rời xa ký ức, nhìn quanh để trở lại hiện tại và kiểm tra bản thân. Nhìn lại Trang 280. Bạn có cảm tưởng gì về những công thức này?

* *

Vào thế kỷ 16, Niccolò Tartaglia* đã đưa ra bài toán sau. Ba đôi bạn trẻ muốn qua sông. Chỉ có một thuyền nhỏ chở được 2 người. Phe nam giới rất ghen và không bao giờ muốn người yêu của mình đi chung với người đàn ông khác. Ta cần bao nhiêu chuyến đò qua sông?

Câu đố 30 s

* *

Các hình trụ có thể được sử dụng để lăn một vật phẳng trên sàn nhà, như ta thấy trong Hình 14. Các hình trụ luôn giữ cho mặt phẳng của vật cách sàn nhà một khoảng không đổi. Có con lăn nào có thiết diện ngang *khác* hình tròn, còn được gọi là *đường cong có bề rộng không đổi*, làm được công việc này? Bạn có thể tìm ra bao nhiêu trường hợp? Có vật nào khác với hình trụ không?

Câu đố 31 s

* *

Việc treo tranh lên tường không dễ. Câu đố đầu tiên: cách tốt nhất để treo một bức tranh trên một cái đinh? Cách này phải cho phép bạn di chuyển bức tranh theo phương ngang sau khi đã đóng đinh, trong trường hợp trọng lượng không được phân bố đều. Câu đố thứ 2: bạn có thể treo một bức tranh lên tường – bằng một sợi dây dài – trên 2 cái đinh sao cho khi ta lấy ra 1 trong 2 cái đinh sẽ làm cho tranh rơi xuống không? Và với 3 cái đinh? *n* cái đinh?

Câu đố 32 s

Xem 26

Câu đố 33 s

Tóm tắt về chuyển động

Chuyển động là một hiện tượng cơ bản nhất trong thiên nhiên. Mọi chuyển động đều có thể tiên đoán được và có tính tất định. Tính tiên đoán được phản ánh qua 6 tính chất của chuyển động: tính liên tục, tính bảo toàn, tính thuận nghịch, tính bất biến gương, tính tương đối và tính cực tiểu hoá biến đổi. Một số tính chất đúng cho *mọi* chuyển động và một số chỉ đúng đối với chuyển động *thông thường*. Đó là tính chất nào và tại sao? Ta sẽ tìm hiểu điều này ngay bây giờ.

Câu đố 34 d



* Niccolò Fontana Tartaglia (1499–1557), toán gia nổi tiếng thời Phục hưng.



Chương 2

Từ việc đo đạc chuyển động tới sự liên tục

> Physic ist wahrlich das eigentliche Studium des Menschen.**
>
> Georg Christoph Lichtenberg

Sự mô tả đơn giản nhất về chuyển động mà chúng ta, giống như mèo hay khỉ, sử dụng trong đời sống hằng ngày: *một vật chỉ có thể ở tại một điểm và thời điểm đã cho.* Mô tả tổng quát này có thể tách ra thành 3 điều giả định: vật chất *bất khả xuyên thấu* và *chuyển động*, thời gian gồm các *thời điểm* và không gian gồm các *điểm*. Không có 3 giả định này (Bạn có đồng ý không?) ta không thể định nghĩa được vận tốc. Như vậy ta cần các điểm nhúng trong không gian và thời gian liên tục để nói về chuyển động. Cách mô tả thiên nhiên này được gọi là *Vật lý Galilei* hay *Vật lý Newton*.

Câu đố 35 s

Galileo Galilei (1564–1642), giáo sư toán ở Tuscan, người đặt nền móng cho Vật lý hiện đại. Ông trở nên nổi tiếng qua việc đề cao vai trò quan trọng của sự quan sát để kiểm chứng các nhận định về thiên nhiên. Bằng cách yêu cầu và thực hiện các phép kiểm chứng này ông đã làm cho độ chính xác của việc mô tả thiên nhiên gia tăng liên tục. Galilei nghiên cứu chuyển động bằng cách đo độ biến thiên của vị trí với đồng hồ bấm giờ tự tạo. Mục đích của các thí nghiệm của Galilei là đo mọi đại lượng đo được của chuyển động. Cách tiếp cận của ông đã thay đổi sự mô tả theo suy đoán của người Hy Lạp cổ thành Vật lý thực nghiệm của nước Ý Phục hưng.***

Sau Galilei, nhà giả kim thuật, nhà huyền học, nhà thần học, vật lý gia và chính trị gia người Anh Isaac Newton (1643–1727) tiếp tục hăng hái tìm hiểu về ý tưởng cho rằng các loại chuyển động khác nhau đều có cùng tính chất và tạo ra một bước phát triển quan trọng trong việc xây dựng các khái niệm cần thiết để chứng minh cho ý tưởng này.****

Các khám phá và sách của Galilei chủ yếu là phổ biến các phát biểu thực nghiệm cơ bản về tính chất của tốc độ, không gian và thời gian.

** 'Vật lý đúng là sự nghiên cứu riêng của con người.' Georg Christoph Lichtenberg (b. 1742 Ober-Ramstadt, d. 1799 Göttingen) vật lý gia và nhà văn nổi tiếng.

*** Quyển sách hay nhất và chứa nhiều thông tin nhất về cuộc đời của Galilei và thời đại của ông là quyển sách của Pietro Redondi (hãy xem phần ở Trang 334). Galilei sinh ra trong những năm mà viết chì được phát minh. Trước giai đoạn này, người ta không thể tính toán bằng giấy và viết chì. Để thoả sự tò mò, website www.mpiwg-berlin.mpg.de sẽ cho bạn được đọc bản thảo gốc của Galilei.

**** Newton ra đời sau khi Galilei mất 1 năm. Trong phần lớn cuộc đời mình, Newton đã luôn tìm kiếm hòn đá tảng của triết gia. Sở thích của Newton khi là người đứng đầu sở đúc tiền của Anh là giám sát việc treo cổ những tên làm bạc giả. Về sự mê đắm trong giả kim thuật của Newton, hãy đọc các quyển sách của
Xem 27
Dobbs. Là một người suốt đời ghét phụ nữ, Newton tự cho rằng mình đã được thượng đế chọn lựa; ông lấy tên Latin là *Isaacus Neuutonus* viết theo thuật đảo chữ là *Jeova sanctus unus*. Về Newton và vai trò của ông
Xem 28
đối với Cơ học cổ điển, hãy xem các quyển sách của Clifford Truesdell.





HÌNH 15 Galileo Galilei (1564–1642).



HÌNH 16 Một số dụng cụ đo tốc độ: một phong tốc kế, một cự kế dành cho giày trượt patin, một súng radar thể thao và ống Pitot–Prandtl trong phi cơ (© Fachhochschule Koblenz, Silva, Tracer, Wikimedia).

Vận tốc là gì?

> Không có điều gì giống như vậy.
>
> Jochen Rindt*

Vận tốc đầy mê hoặc. Đối với vật lý gia, không chỉ có đua xe là hấp dẫn mà mọi thực thể chuyển động đều hấp dẫn. Do đó, việc đầu tiên của các vật lý gia là đo đạc thật nhiều. Một số các giá trị tốc độ được cho trong Bảng 3. Đơn vị và các tiền tố được giải thích chi Trang 452 tiết trong Phụ lục 17. Một số dụng cụ đo được trình bày trong Hình 16.

Đời sống hằng ngày cho ta biết nhiều điều về chuyển động: các vật thể có thể vượt qua nhau và đi theo các hướng khác nhau. Ta cũng biết rằng vận tốc có cộng tính và thay đổi liên tục. Danh sách chính xác của các tính chất này, như ta thấy trong Bảng 4, được các toán gia tóm gọn trong một thuật ngữ đặc biệt; họ nói rằng vận tốc tạo thành một *không gian vector Euclide*.** Một số chi tiết về thuật ngữ kỳ lạ này sẽ được cho sau đây. Trang 81 Ở đây ta chỉ nên chú ý rằng trong việc mô tả thiên nhiên, các khái niệm toán học cung cấp cho ta các công cụ chính xác nhất.

* Jochen Rindt (1942–1970), tay đua xe công thức 1 nổi tiếng người Áo, nói về tốc độ.

** Nó được đặt tên theo Euclid, hay Eukleides, toán gia vĩ đại Hy Lạp sống ở Alexandria khoảng năm 300 BCE. Euclid đã viết một chuyên luận đồ sộ về hình học là Στοιχεῖα hay *Elements*, một trong những hòn đá tảng của tư tưởng nhân loại. Quyển sách này trình bày toàn bộ kiến thức về hình học vào thời đó. Lần đầu tiên Euclid đã đưa ra 2 cách tiếp cận mà bây giờ vẫn còn được sử dụng: mọi phát biểu đều phải được suy ra từ một số ít các *tiên đề* cơ bản và mọi phát biểu đều phải có *chứng minh*. Ngày nay quyển sách vẫn được in lại, đã là quyển sách tham khảo hình học trong hơn 2000 năm. Trên web, ta có thể tìm thấy nó tại địa chỉ aleph0.clarku.edu/~djoyce/java/elements/elements.html.



BẢNG 3 Một số giá trị vận tốc đã đo được.

Hiện tượng	Vận tốc
Sự tăng trưởng của lớp mangan dưới biển sâu	80 am/s
Bạn có thể tìm thấy hiện tượng gì chậm hơn không?	Câu đố 36 s
Sự tăng trưởng của thạch nhũ	0.3 pm/s
Sự tăng trưởng của địa y	xuống tới 7 pm/s
Chuyển động của lục địa	10 mm/a = 0.3 nm/s
Sự tăng trưởng của người trong thời thơ ấu, sự tăng trưởng của tóc	4 nm/s
Sự tăng trưởng của cây	lên tới 30 nm/s
Tốc độ electron trong dây kim loại	1 µm/s
Chuyển động của tinh trùng	60 tới 160 µm/s
Tốc độ ánh sáng ở tâm Mặt trời Xem 29	1 mm/s
Tốc độ ketchup	1 mm/s
Tốc độ chậm nhất của ánh sáng đo được trong vật chất trên Trái đất Xem 30	0.3 m/s
Tốc độ của bông tuyết	0.5 m/s tới 1.5 m/s
Tốc độ tín hiệu trong tế bào thần kinh của người Xem 31	0.5 m/s tới 120 m/s
Tốc độ gió từ 1 tới 12 Beaufort (gió nhẹ và cuồng phong)	$<$ 1.5 m/s, $>$ 33 m/s
Tốc độ giọt mưa, tuỳ theo bán kính	2 m/s tới 8 m/s
Cá bơi nhanh nhất, cá cờ (*Istiophorus platypterus*)	22 m/s
Tốc độ thuyền buồm kỷ lục năm 2009 trên 500 m (của trimaran Hydroptère)	26.4 m/s
Động vật chạy nhanh nhất, báo cheetah (*Acinonyx jubatus*)	30 m/s
Tốc độ không khí trong cổ họng khi hắt hơi	42 m/s
Tốc độ ném nhanh nhất: banh cricket ném bằng kỹ thuật dã cầu trong khi chạy	50 m/s
Người rơi tự do, phụ thuộc quần áo	50 tới 90 m/s
Chim bay nhanh nhất, tốc độ lao xuống *Falco peregrinus*	60 m/s
Cú smash nhanh nhất trong vũ cầu	70 m/s
Tốc độ trung bình của phân tử oxygen trong không khí ở nhiệt độ phòng	280 m/s
Tốc độ âm thanh trong không khí khô ở mực nước biển và nhiệt độ tiêu chuẩn	330 m/s
Tốc độ của xích đạo Trái đất	434 m/s
Tốc độ của ngọn roi	750 m/s
Tốc độ viên đạn súng ngắn	1 km/s
Tốc độ lan truyền vết nứt trong silic vỡ	5 km/s
Tốc độ vĩ mô lớn nhất do con người tạo ra – vệ tinh *Helios II*	70.2 km/s
Tốc độ của Trái đất trong vũ trụ	370 km/s
Tốc độ trung bình (và cực đại) của đầu tia sét	600 km/s (50 Mm/s)
Tốc độ vĩ mô lớn nhất đo được trong Ngân hà Xem 32	$0.97 \cdot 10^8$ m/s
Tốc độ electron trong đèn hình TV màu	$1 \cdot 10^8$ m/s
Tốc độ các thông điệp vô tuyến trong không gian	299 792 458 m/s
Vận tốc nhóm đo được lớn nhất của ánh sáng	$10 \cdot 10^8$ m/s
Tốc độ điểm sáng của một hải đăng khi quét trên Mặt trăng	$2 \cdot 10^9$ m/s
Vận tốc *riêng* lớn nhất của electron mà con người đã tạo ra được	$7 \cdot 10^{13}$ m/s
Tốc độ khả hữu lớn nhất của một điểm sáng hay bóng tối	không có giới hạn



BẢNG 4 Các tính chất của vận tốc thông thường – hay Galilei.

Vận tốc có thể	Tính chất vật lý	Tên toán học	Định nghĩa
Phân biệt được	tính phân biệt được	phần tử của tập hợp	Quyển III, trang 283
Thay đổi liên tục	tính liên tục	không gian vector thực	Trang 81, Quyển V, trang 366
Hướng về phía nào đó	hướng	không gian vector, số chiều	Trang 81
So sánh được	tính đo được	tính metric	Quyển IV, trang 236
Cộng được	cộng tính	không gian vector	Trang 81
Có góc xác định	hướng	không gian vector Euclide	Trang 81
Vượt mọi giới hạn	tính vô hạn	tính không giới nội	Quyển III, trang 285

Khi vận tốc được xem là một vector Euclide, nó được gọi là *vận tốc Galilei*. Vận tốc là một khái niệm quan trọng. Ta có thể xác định vận tốc mà không cần các phép đo không gian và thời gian. Bạn có thể tìm ra một phương tiện đo vận tốc mà không cần đo không gian và thời gian không? Nếu được, bạn có thể muốn nhảy tới quyển kế tiếp, một bước nhảy cần đến 2000 năm. Nếu không, bạn hãy xem xét điều này: khi ta đo một đại lượng ta đã giả sử rằng mọi người đều có thể làm như vậy và sẽ kiếm được một kết quả tương tự. Nói cách khác, ta định nghĩa một *phép đo* là sự so sánh với một chuẩn đo. Như vậy ta ngầm giả sử rằng đã có một tiêu chẩn như vậy, tức là ta có thể tìm thấy một vận tốc 'hoàn hảo'. Xét về mặt lịch sử, việc nghiên cứu chuyển động không xem xét câu hỏi này trước, vì trong nhiều thế kỷ, không ai tìm được một vận tốc tiêu chuẩn như vậy. Như vậy bạn cũng giống như những người khác.

Câu đố 37 d

Trong đời sống hằng ngày vận tốc đã được đo như thế nào? Động vật và người ước lượng vận tốc theo 2 cách: bằng tần số của chuyển động riêng như bước chân hay sử dụng mắt, tai, xúc giác hay cảm nhận sự rung động để suy ra sự thay đổi vị trí đối với môi trường. Nhưng một số động vật có thêm một số khả năng: một số loài rắn có thể xác định tốc độ bằng các cơ quan cảm nhận được tia hồng ngoại, một số khác có các cơ quan cảm nhận được từ trường. Một số khác phát ra âm thanh tạo ra tiếng vọng để đo tốc độ với độ chính xác cao. Các động vật khác dùng sao để định hướng. Một loạt các giải pháp đã được con người sử dụng trong các thiết bị kỹ thuật. Bảng 5 cho ta một tổng quan về vấn đề này.

Vận tốc không phải là một chủ đề dễ hiểu. Các vật lý gia thích nói đùa rằng cái gì không đo được thì không hiện hữu. Bạn có thể đo vận tốc của mình trong không gian giữa các vì sao hay không?

Câu đố 38 s

Vận tốc được kỹ sư lẫn các khoa học gia về sự tiến hoá quan tâm. Nhìn chung hệ tự hành càng lớn thì cảnh nhanh. Thí dụ trong Hình 17 cho ta thấy ảnh hưởng của điều này vào tốc độ bay của vật. Thường thì tốc độ du hành tỷ lệ với căn bậc 6 của trọng lượng, như đã được biểu diễn bởi đường xu hướng trong đồ thị. (Bạn có thể tìm ra lý do không?) Ngoài ra, các hệ thức *tương quan sinh trưởng* vẫn còn đúng đối với nhiều tính chất của hệ chuyển động như ta sẽ thấy sau này.

Câu đố 39 d

Một số khoa học gia chuyên nghiên cứu về các vận tốc nhỏ nhất trong thiên nhiên:



HÌNH 17 Tỷ lệ giữa tải trọng trên cánh và tốc độ du hành ở mực nước biển đối với trọng lượng vật bay, so với đường xu hướng chung (after a graph © Henk Tennekes).



BẢNG 5 Các dụng cụ đo tốc độ trong các sinh hệ và các hệ kỹ thuật.

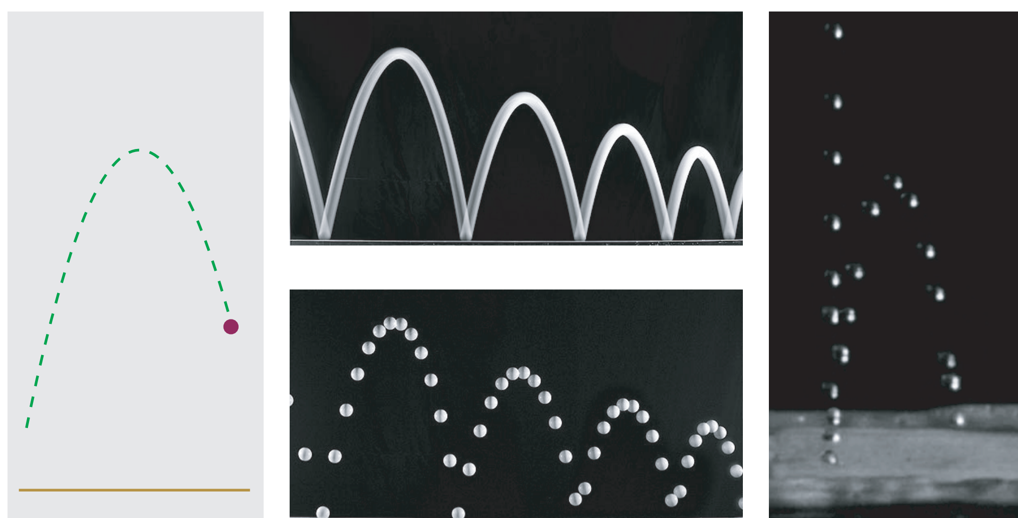
Phép đo	Dụng cụ	Phạm vi đo
Tốc độ chạy của côn trùng, động vật hữu nhũ và con người	tần số nhịp chân đo được bằng đồng hồ nội tại	0 tới 33 m/s
Tốc độ xe hơi	cự kế gắn với bánh xe	0 tới 150 m/s
Động vật ăn thịt và thợ săn đo tốc độ con mồi	hệ thị giác	0 tới 30 m/s
Cảnh sát đo tốc độ xe	súng radar hay laser	0 tới 90 m/s
Dơi đo tốc độ riêng và tốc độ con mồi	sonar doppler	0 tới 20 m/s
Cửa trượt đo tốc độ tới gần của người	radar doppler	0 tới 3 m/s
Tốc độ bơi của cá và người	ma sát và sự biến dạng của da	0 tới 30 m/s
Tốc độ cá heo và tàu thuỷ	sonar tới đáy biển	0 tới 20 m/s
Tốc độ lặn của cá, động vật, thợ lặn và tàu ngầm	độ thay đổi áp suất	0 tới 5 m/s
Động vật ăn thịt dưới nước và thuyền đánh cá đo tốc độ con mồi	sonar	0 tới 20 m/s
Tốc độ của côn trùng/đất	thường không có (cào cào)	không có
Tốc độ của chim/đất	hệ thị giác	0 tới 60 m/s
Tốc độ của phi cơ/đất hay hoả tiễn/đất	phép đo góc bằng sóng vô tuyến, radar	0 tới 8000 m/s
Tốc độ của chim/không khí và côn trùng/không khí	độ lệch của các sợi lông mảnh	0 tới 60 m/s
Tốc độ của phi cơ/không khí	ống Pitot–Prandtl	0 tới 340 m/s
Tốc độ gió trong các trạm khí tượng	phong tốc kế nhiệt, quay hay siêu âm	0 tới 80 m/s
Chim én đo tốc độ con mồi	hệ thị giác	0 tới 20 m/s
Dơi đo tốc độ con mồi	sonar	0 tới 20 m/s
Chuyển động vĩ mô trên Trái đất	Hệ định vị toàn cầu, Galilei, Glonass	0 tới 100 m/s
Phi công đo tốc độ mục tiêu	radar	0 tới 1000 m/s
Chuyển động của ngôi sao	hiệu ứng Doppler quang học	0 tới 1000 km/s
Chuyển động của các luồng khí của ngôi sao	hiệu ứng Doppler quang học	0 tới 200 Mm/s

Xem 33
Câu đố 40 e

họ được gọi là các nhà địa chất học. Đừng bỏ lỡ cơ hội dạo qua một thắng cảnh trong khi nghe họ thuyết trình.

Vận tốc là một chủ đề quan trọng còn vì một lý do khác: ta sẽ khám phá ra rằng tất cả 7 tính chất của Bảng 4 chỉ là gần đúng; *không* tính chất nào thực sự đúng. Các thí nghiệm cải tiến sẽ cho ta biết những ngoại lệ của các tính chất của vận tốc Galilei. Sự thiếu sót của 3 tính chất cuối trong Bảng 4 sẽ dẫn ta tới Thuyết tương đối, 2 tính chất giữa dẫn tới Thuyết lượng tử và 2 tính chất đầu dẫn tới sự mô tả thống nhất về thiên nhiên. Nhưng bây giờ ta chú tâm vào vận tốc Galilei và tiếp tục với một khái niệm Galilei khác dẫn xuất từ nó là thời gian.





HÌNH 18 Một quỹ đạo điển hình của một hòn đá được ném trong không khí – một parabol – với các ảnh chụp (mờ và hoạt nghiệm) của một quả banh bàn nảy trên bàn (hình giữa) và ảnh hoạt nghiệm của một giọt nước nảy trên một mặt không dính ướt (hình bên phải, © Andrew Davidhazy, Max Groenendijk).

> Không có các khái niệm *không gian*, *hư vô* và *thời gian*, không có sự thay đổi. [...] Do đó ta phải tiến hành [...] việc nghiên cứu chúng bằng cách nghiên từng khái niệm một.
>
> Aristotle* *Physics*, Book III, part 1.

Thời gian là gì?

> Thời gian là một sự tình cờ của chuyển động.
>
> Theophrastus**

> Thời gian không tự hiện hữu mà phải thông qua các vật được nhận thức và từ đó nảy sinh các khái niệm quá khứ, hiện tại và tương lai.
>
> Lucretius,*** *De rerum natura*, lib. 1, v. 460 ss.

Trong những năm đầu đời, trẻ em mất nhiều thời gian để ném đồ vật ra chung quanh. Thuật ngữ 'vật' là một từ Latin có nghĩa là 'cái được ném ra phía trước.' Tâm lý học phát triển đã chứng minh bằng thực nghiệm rằng chính từ kinh nghiệm này, trẻ em rút ra các khái niệm về thời gian và không gian. Các vật lý gia cũng làm giống như vậy khi nghiên cứu chuyển động ở đại học.

Xem 21

Khi ta ném một hòn đá trong không khí, ta có thể xác định một *dãy* các quan sát. Hình 18 minh hoạ cho điều này. Trí nhớ và giác quan cho ta khả năng này. Thính giác

* Aristotle (b. 384/3 Stageira, d. 322 BCE Euboea), triết gia và khoa học gia Hy Lạp nổi tiếng, người sáng lập *Trường phái tiêu dao* ở Lyceum, một trường dành để tưởng nhớ Apollo Lyceus.
** Theophrastus of Eresos (c. 371 – c. 287) là một triết gia ở Lesbos đáng kính, truyền nhân của Aristoteles ở Lyceum.
*** Titus Lucretius Carus (*c.* 95 tới *c.* 55 BCE), Học giả và nhà thơ La Mã.



BẢNG 6 Một số thí dụ về thời gian.

Thời gian	Giá trị
Thời gian có thể đo được ngắn nhất	10^{-44} s
Thời gian ngắn nhất đã đo được	10 ys
Thời gian ánh sáng đi ngang một nguyên tử điển hình	0.1 tới 10 as
Xung laser ngắn nhất được tạo ra tính cho đến nay	200 as
Chu kỳ của sự chuyển mức siêu tinh tế ở trạng thái cơ bản của caesium	108.782 775 707 78 ps
Nhịp đập cánh của ruồi	1 ms
Chu kỳ của pulsar (sao neutron quay) PSR 1913+16	0.059 029 995 271(2) s
‘Thời điểm’ của người	20 ms
Cuộc đời ngắn nhất của sinh vật	0.3 d
Chiều dài trung bình của một ngày cách nay 400 triệu năm	79 200 s
Chiều dài trung bình của một ngày hiện nay	86 400.002(1) s
Từ lúc ra đời tới kỷ niệm 1000 triệu giây của bạn	31.7 a
Tuổi của cây già nhất	4600 a
Việc sử dụng ngôn ngữ của người	0.2 Ma
Tuổi của dãy Himalaya	35 tới 55 Ma
Tuổi của đá cổ xưa nhất, được tìm thấy ở Isua Belt, Greenland và ở Porpoise Cove, Hudson Bay	3.8 Ga
Tuổi của Trái đất	4.6 Ga
Tuổi của các sao già nhất	13.8 Ga
Tuổi của phần lớn các proton trong cơ thể của bạn	13.8 Ga
Thời gian sống của hạt nhân tantalum ^{180m}Ta	10^{15} a
Thời gian sống của hạt nhân bismuth ^{209}Bi	$1.9(2) \cdot 10^{19}$ a

ghi lại các âm thanh khác nhau khi hòn đá đi lên và rơi xuống chạm đất. Mắt của chúng ta theo dấu các vị trí của hòn đá từ điểm này sang điểm kia. Mỗi quan sát đều có vị trí của chúng nằm trong một dãy các quan sát, một số đi trước, một số đồng thời và một số đi sau. Ta nói rằng các quan sát đã xảy ra tại *các thời điểm* khác nhau – hay ‘điểm trong thời gian’ – và ta gọi dãy các thời điểm là *thời gian*.

Một quan sát được xem là phần nhỏ nhất của một dãy, tức là bản thân nó không phải là một dãy, được gọi là một *biến cố*. Biến cố đóng vai trò trung tâm trong việc định nghĩa thời gian; đặc biệt, việc khởi động hay dừng đồng hồ bấm giờ cũng là các biến cố. (Nhưng các biến cố có thực sự hiện hữu không? Hãy nhớ câu hỏi này khi ta đi tiếp.) Câu đố 41 s

Các hiện tượng liên tiếp có thêm một tính chất là tính kéo dài hay thời khoảng. Một số giá trị đo được có trong Bảng 6.* *Thời khoảng* diễn đạt ý tưởng là các dãy biến cố *cần có* thời gian. Khi ta nói một dãy biến cố cần có thời gian là ta muốn diễn đạt ý tưởng các dãy biến cố khác có thể xảy ra song song với nó.

Khái niệm thời gian, bao gồm các dãy và thời khoảng, suy ra từ các quan sát có độ chính xác cỡ nào? Nhiều người đã xem xét câu hỏi này: thiên văn gia, vật lý gia, nhà sản

* Một năm được viết tắt là a (Latin ‘annus’).



xuất đồng hồ, tâm lý gia và triết gia. Tất cả đều nhận thấy:

▷ Thời gian được suy ra bằng cách so sánh các chuyển động.

Điều này cũng đúng đối với trẻ em và động vật. Ngay từ những ngày đầu của thuở thiếu thời, chúng đã phát triển khái niệm 'thời gian' từ việc so sánh các chuyển động chung Xem 21 quanh. Người trưởng thành lấy chuyển động của Mặt trời làm tiêu chuẩn và gọi loại thời gian này là *thời gian địa phương*. Từ Mặt trăng họ tìm ra *âm lịch*. Nếu họ lấy đồng hồ ở một làng đặc biệt ở một đảo ở châu Âu thì họ gọi nó là *toạ độ thời gian phổ quát* (UTC), đã từng được gọi là 'giờ trung bình Greenwich.'* Thiên văn gia sử dụng chuyển động của sao và gọi thời gian đó là *thời gian thiên văn*. Quan sát viên sử dụng đồng hồ riêng và gọi số đọc được là *thời gian riêng*; loại này thường được sử dụng trong Thuyết tương đối.

Không phải chuyển động nào cũng là một tiêu chuẩn tốt cho thời gian. Vào năm 2000, Trang 455 một vòng quay của Trái đất không còn được lấy là 86 400 s như trong năm 1900 nữa mà là 86 400.002 s. Bạn có thể suy ra năm mà sinh nhật của bạn sẽ bị lệch đi cả một ngày Câu đố 43 s tính từ lúc thời gian được tính với 86 400 s không?

Mọi phương pháp định nghĩa thời gian đều dựa trên sự so sánh các chuyển động. Để tạo ra được khái niệm thời gian thật chính xác và hữu dụng, ta phải chọn một chuyển động quy chiếu *chuẩn* và xác định một dãy và một thời khoảng chuẩn. Thiết bị thực hiện công việc này được gọi là *đồng hồ*. Và ta đã có thể trả lời câu hỏi làm tiêu đề cho phần này:

▷ Thời gian là những gì mà ta đọc từ đồng hồ.

Hãy nhớ rằng mọi định nghĩa thời gian được sử dụng trong những nhánh vật lý khác nhau đều tương đương với định nghĩa này; không thể có định nghĩa 'sâu sắc hơn' hay cơ bản hơn.** Ta cần chú ý rằng từ 'lúc' (moment) thực ra dẫn xuất từ chữ 'chuyển động' (movement). Ngôn ngữ đã theo Vật lý trong trường hợp này. Điều đáng ngạc nhiên là định nghĩa thời gian chỉ được cho sau cùng; nó sẽ không bao giờ thay đổi kể cả ở đỉnh Hành Sơn. Thoạt tiên điều này có vẻ kỳ lạ vì nhiều sách đã viết về bản chất của thời gian. Lẽ ra chúng nên viết về bản chất của chuyển động!

▷ Đồng hồ nhắc chúng ta nhớ rằng để hiểu thời gian, ta cần hiểu về chuyển động.

Nhưng dù sao thì đây cũng là mục đích của chúng ta. Ta xem việc khám phá mọi bí mật của thời gian là một kết quả phụ của cuộc thám hiểm.

Thời gian không chỉ là một phương diện của các quan sát, nó còn là một mặt của kinh nghiệm cá nhân. Ngay trong đời sống riêng tư nhất của chúng ta, trong tư tưởng, cảm tưởng và giấc mơ, ta đều cảm nhận các dãy biến cố và thời khoảng. Trẻ em biết cách

* Giờ UTC chính thức được sử dụng để xác định phase của lưới điện, luồng bit của các công ty điện thoại và internet, tín hiệu đi tới hệ GPS. Phần sau cùng được nhiều hệ đạo hàng trên khắp thế giới sử dụng, đặc biệt ở trên tàu thuỷ, phi cơ và mobile phone. Để có thêm thông tin bạn có thể xem tại www.gpsworld.com. Cơ sở hạ tầng để duy trì thời gian cũng rất quan trọng đối với các bộ phận khác của nền kinh tế hiện đại. Câu đố 42 s Bạn có thể chỉ ra phần quan trọng nhất không?

Xem 34 ** Đồng hồ cổ nhất là nhật quỹ. Khoa học về việc chế tạo ra chúng được gọi là *nhật quỹ học*.



BẢNG 7 Các tính chất của thời gian Galilei.

Thời điểm	Tính chất vật lý	tên toán học	Định nghĩa
Có thể phân biệt được	tính phân biệt được	phần tử của một tập hợp	Quyển III, trang 283
Có thể sắp thứ tự	dãy	thứ tự	Quyển V, trang 366
Xác định thời khoảng	tính đo được	tính metric	Quyển IV, trang 236
Thời khoảng có thể bằng 0	tính liên tục	tính trù mật, tính đầy đủ	Quyển V, trang 366
Thời khoảng có thể cộng được	cộng tính	tính metric	Quyển IV, trang 236
Không ẩn giấu sự bất ngờ	tính bất biến đối với phép tĩnh tiến	tính thuần nhất	Trang 238
Không kết thúc	tính vô hạn	tính không giới nội	Quyển III, trang 285
Giống nhau đối với mọi quan sát viên	tính tuyệt đối	tính duy nhất	

liên hệ các kinh nghiệm nội tại về thời gian với các quan sát bên ngoài và sử dụng tính chất liên tiếp của các biến cố trong hành động của chúng. Việc nghiên cứu nguồn gốc của thời gian tâm lý cho ta thấy rằng nó trùng với thời gian đồng hồ – bất chấp sự thiếu chính xác của nó.* Mỗi người trong sinh hoạt hằng ngày cần sử dụng khái niệm thời gian là một sự kết hợp giữa chuỗi biến cố và thời khoảng; điều này đã được kiểm chứng
Xem 36 trong nhiều cuộc nghiên cứu. Chẳng hạn như từ 'khi' có mặt trong mọi ngôn ngữ.

Thời gian là khái niệm *cần* cho việc phân biệt các biến cố. Trong bất kỳ chuỗi quan sát nào, ta đều thấy rằng các biến cố nối đuôi nhau một cách liên tục, trơn tru. Trong ngữ cảnh này, 'trơn tru' có nghĩa là các biến cố không quá xa nhau nên không quá khác nhau. Tuy vậy, giữa 2 thời điểm gần đến mức ta vẫn còn quan sát được, luôn luôn có chỗ cho các biến cố khác. Thời khoảng, hay *khoảng thời gian*, được đo bằng những người khác nhau với những đồng hồ khác nhau đều phù hợp với đời sống thông thường; hơn nữa, mọi quan sát viên đều đồng ý với thứ tự của chuỗi biến cố. Thời gian có tính *duy nhất* trong đời sống hằng ngày. Người ta cũng nói rằng thời gian trong đời sống hằng ngày có *tính tuyệt đối*.

Thời gian cần để phân biệt các biến cố. Vì lý do này, mọi thiết bị quan sát từ não cho tới máy ghi âm và máy quay film đều có đồng hồ riêng. Đặc biệt não của mọi động vật đều có đồng hồ nội tại. Những đồng hồ trong não này giúp cho chủ nhân của nó phân biệt được dữ liệu và các biến cố hiện tại, mới xảy ra hay trong quá khứ.

Khi Galilei nghiên cứu chuyển động vào thế kỷ 17 thì chưa có đồng hồ bấm giờ. Do đó ông phải tự chế tạo ra nó để đo thời gian trong khoảng vài phần trăm giây và vài giây.
Câu đố 44 s Bạn có thể hình dung ra cách ông đã làm không?

Nếu ta hệ thống hoá mọi tính chất của thời gian mà ta trải nghiệm hằng ngày thật chính xác, ta sẽ có Bảng 7. Thời gian này được gọi là *thời gian Galilei*. Mọi tính chất của

Quyển V, trang 42
Xem 35

* Não chứa nhiều đồng hồ. Đồng hồ chính xác nhất dành cho những khoảng thời gian ngắn, bộ định thời nội tại của não, chính xác hơn ta tưởng tượng, nhất là khi được tập luyện. Đối với khoảng thời gian trong phạm vi vài phần 10 của giây, cần cho lĩnh vực âm nhạc, và vài phút, con người có thể xác định thời gian đạt đến độ chính xác vài phần trăm.



nó có thể biểu diễn đồng thời bằng cách mô tả thời gian bằng *số thực*. Đúng ra các toán gia đã tạo ra số thực để nó có tính chất giống như thời gian Galilei, như ta đã giải thích trong chương nói về não bộ. Trong trường hợp của thời gian Galilei, mỗi thời điểm có
Quyển III, trang 293
thể được mô tả bằng 1 số thực, thường được viết tắt là t. Thời gian xảy ra một chuỗi biến cố bằng hiệu giữa thời điểm của biến cố cuối và biến cố đầu.

Ta sẽ gặp nhiều điều vui nhộn với thời gian Galilei trong phần này của cuộc du hành. Tuy vậy, sau hàng trăm năm nghiên cứu kỹ lưỡng đã cho ta thấy rằng *mỗi tính chất đơn giản* của thời gian Galilei được liệt kê trong Bảng 7 đều có tính gần đúng chứ không chính xác hoàn toàn. Câu chuyện này sẽ được kể trong phần còn lại của cuộc phiêu lưu.

Đồng hồ

> “Vật giá trị nhất mà một người có thể dùng được là thời gian.”
>
> Theophrastus

Đồng hồ là một hệ chuyển động mà ta có thể đọc được vị trí của nó.

Có nhiều loại đồng hồ: đồng hồ bấm giờ, đồng hồ 24 tiếng, nhật quỹ, đồng hồ mặt trăng, đồng hồ theo mùa, v.v... Một vài loại được trình bày trong Hình 19. Phần lớn các
Xem 37
loại này cũng được tìm thấy trong thực vật và động vật, như trong Bảng 8.

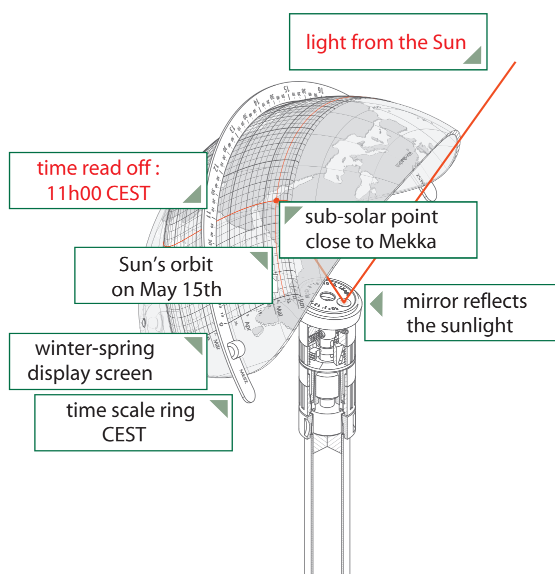
Điều thú vị là có một quy luật chặt chẽ trong vương quốc động vật: đồng hồ càng lớn
Xem 38
càng chạy chậm. Điều này được trình bày trong Hình 20, một thí dụ của *'định luật' tỷ lệ tương quan sinh trưởng*.

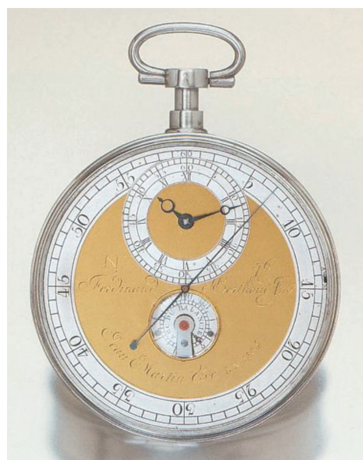
Đồng hồ là một hệ chuyển động mà ta có thể đọc được vị trí của nó. Dĩ nhiên là một đồng hồ *chính xác* phải là một hệ chuyển động thật đều đặn, với rất ít các nhiễu loạn do tác động của bên ngoài. Những người chế tạo đồng hồ là các chuyên gia trong việc tạo
Trang 182
ra các chuyển động đều đặn. Sau đây ta sẽ tìm hiểu một số thủ thuật của họ. Kế đến ta
Quyển V, trang 45
cũng sẽ tìm hiểu các giới hạn của độ chính xác của đồng hồ.

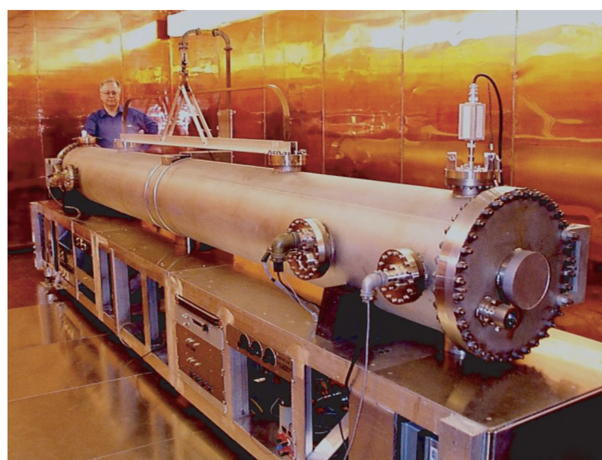
Trong thiên nhiên có một đồng hồ hoàn hảo không? Đồng hồ có hiện hữu không? Ta sẽ tiếp tục xem xét các câu hỏi này và lần hồi tìm ra một kết luận đáng ngạc nhiên. Tuy vậy, vào lúc này, ta sẽ nói đến một kết quả trung gian đơn giản: vì có đồng hồ, nên ít nhiều gì đó trong thiên nhiên sẽ có một phương thức đo thời gian có sẵn, tự nhiên và
Câu đố 45 s
lý tưởng. Bạn có nhận ra nó không?



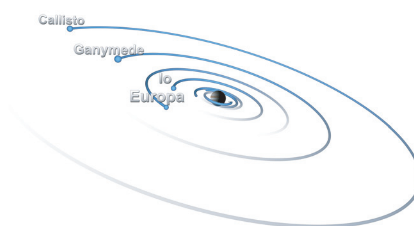












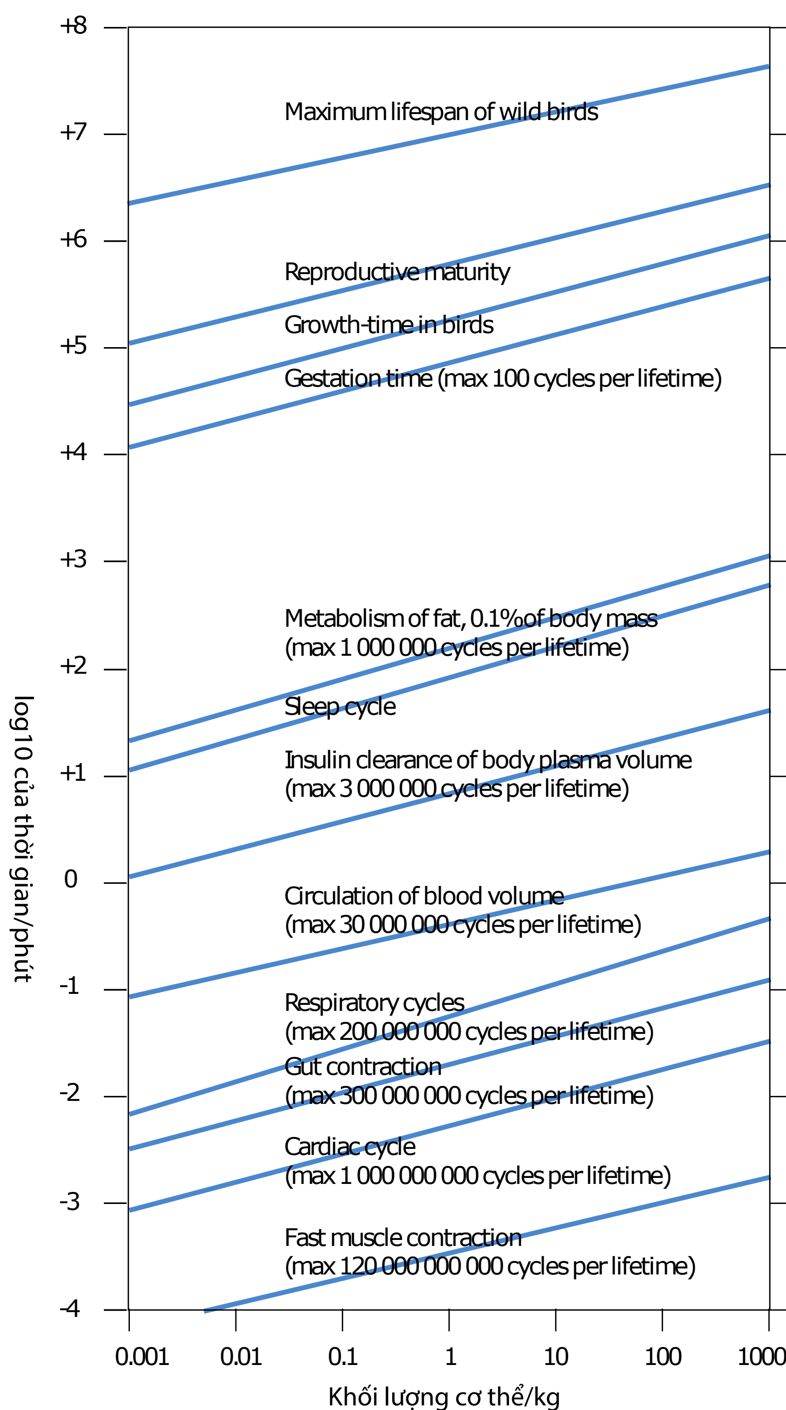
HÌNH 19 Các loại đồng hồ khác nhau: nhật quỹ công nghệ cao (kích thước c. 30 cm), một thời kế bỏ túi (kích thước c. 6 cm), đồng hồ nguyên tử caesium (kích thước c. 4 m), một nhóm vi khuẩn lam và các vệ tinh Galilei của Mộc tinh (© Carlo Heller at www.heliosuhren.de, Anonymous, INMS, Wikimedia, NASA).



BẢNG 8 Các thí dụ về nhịp điệu và đồng hồ sinh học.

Sinh vật	Hệ dao động	Chu kỳ
Bọ chét cát (*Talitrus saltator*)	định hướng để chạy xa vị trí của Mặt trời hay Mặt trăng	hằng ngày
Người (*Homo sapiens*)	sóng gamma trong não	0.023 tới 0.03 s
	sóng alpha trong não	0.08 tới 0.13 s
	nhịp tim	0.3 tới 1.5 s
	sóng delta trong não	0.3 tới 10 s
	tuần hoàn máu	30 s
	nhịp điệu mỗi giờ của tế bào	1 tới 2 ks
	chu kỳ giấc ngủ đảo mắt nhanh	5.4 ks
	chu kỳ mũi	4 tới 14 ks
	chu kỳ hormone tăng trưởng	11 ks
	nhân chéo trên (SCN), nồng độ hormone hằng ngày, nhiệt độ, v.v...; dẫn tới sự mệt mỏi sau chuyến bay dài	90 ks
	đồng hồ của da	hằng ngày
	kinh nguyệt	2.4(4) Ms
	quá trình lão hoá	3.2(3) Gs
Ruồi (*Musca domestica*)	đập cánh	30 ms
Ruồi (*Drosophila melanogaster*)	đập cánh tán tỉnh	34 ms
Đa số côn trùng (thí dụ ong, ruồi)	thời kỳ đình dục do chiều dài của ngày; làm thay đổi sự biến dưỡng	hằng năm
Tảo (*Acetabularia*)	nồng độ Adenosinetriphosphate (ATP)	
Mốc (thí dụ *Neurospora crassa*)	hình thành bào tử	hằng ngày
Nhiều thực vật có hoa	hoa mở và khép cánh	hằng ngày
Cây thuốc lá	đồng hồ nở hoa (quang chu kỳ); gây ra do chiều dài của ngày, được Garner và Allard khám phá vào năm 1920	hằng năm
Arabidopsis	chuyển động xoắn ngọn	hằng ngày
	tăng trưởng	vài giờ
Cây đậu thóc (*Desmodium gyrans*)	quay lá	200 s
Forsythia europaea, *F. suspensa*, *F. viridissima*, *F. spectabilis*	dao động của cánh hoa, Van Gooch khám phá vào năm 2002	5.1 ks





HÌNH 20 Nhịp điệu sinh học tỷ lệ với kích thước của động vật hữu nhũ: tất cả đều tỷ lệ ít hay nhiều với luỹ thừa 1/4 của khối lượng (theo dữ liệu của EMBO và Enrique Morgado).



Tại sao đồng hồ đi theo chiều kim đồng hồ?

Câu đố 46 s

“Bây giờ ở Bắc cực là mấy giờ?”

Phần lớn các chuyển động tròn trong xã hội của chúng ta, như đường chạy điền kinh, đua ngựa, đua xe đạp hay trượt băng, đều đi theo chiều ngược chiều kim đồng hồ.* Các toán gia gọi chiều này là chiều dương. Mọi siêu thị đều hướng dẫn khách hàng đi qua các sảnh theo chiều dương. Tại sao? Đa số người thuận tay phải và tay phải sẽ có nhiều tự do hơn nếu ở bên ngoài vòng quay. Do đó cách nay hàng ngàn năm các cuộc đua xe ngựa trong đấu trường đều đi ngược chiều kim đồng hồ. Kết quả là chiều các đường đua vẫn giữ như vậy cho tới ngày nay và đó là lý do các tay đua chạy theo chiều dương. Tương tự như vậy, các cầu thang xoắn ốc trong các lâu đài cũng được xây để bảo vệ cho người thuận tay phải từ sự tấn công từ phía trên, có tay phải ở bên ngoài.

Mặt khác, đồng hồ bắt chước cái bóng của nhật quỹ; dĩ nhiên điều này chỉ đúng cho Bắc bán cầu và nhật quỹ nằm trên mặt đất, theo kiểu thông dụng nhất. (Thủ thuật cũ kỹ dùng xác định phương Nam bằng cách hướng kim giờ của đồng hồ đặt nằm ngang về phía Mặt trời và chia đôi góc giữa nó và hướng 12 giờ không dùng được ở Nam bán cầu – nhưng bạn có thể xác định hướng Bắc bằng cách này.) Như vậy mọi đồng hồ đều ngầm hoạt động theo điều kiện ở bán cầu, nơi mà nó được tạo ra. Ngoài ra, bạn cũng nên biết rằng nhật quỹ đặt trên tường thường chạy chậm hơn nhật quỹ đặt trên mặt đất.

Thời gian có trôi đi không?

“Wir können keinen Vorgang mit dem ‘Ablauf der Zeit’ vergleichen – diesen gibt es nicht –, sondern nur mit einem anderen Vorgang (etwa dem Gang des Chronometers).**”
Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 6.3611

“Si le temps est un fleuve, quel est son lit?***”

Cách diễn tả ‘dòng thời gian’ thường được người ta sử dụng để nói rằng trong thiên nhiên, các thay đổi nối tiếp nhau, một cách đều đặn và liên tục. Mặc dù các cây kim đồng hồ có ‘trôi đi’ nhưng thời gian thì không. Thời gian là một khái niệm đặc biệt được đưa ra để mô tả dòng sự kiện quanh ta; nó không chảy mà *mô tả* sự chảy. Thời gian không tiến lên. Thời gian không trôi xuôi và cũng không tuần hoàn. Ý tưởng thời gian trôi sẽ là một sự ngăn trở cho việc tìm hiểu thiên nhiên giống như ý tưởng cho rằng gương hoán chuyển bên phải và bên trái.

Quyển III, trang 91
Xem 39

Việc sử dụng cách diễn đạt không đúng ‘dòng thời gian’ đã được các tư tưởng gia Hy Lạp truyền bá lần đầu tiên và sau đó là Newton. Và điều này vẫn còn tiếp diễn. Aristotle, là người thận trọng trong suy nghĩ, đã chỉ ra điều ngộ nhận này và nhiều người đã theo quan niệm của ông. Tuy vậy, những cách diễn đạt như ‘đảo ngược thời gian’, ‘tính không

* Những ngoại lệ đáng chú ý là phần lớn, nhưng không phải là tất cả, các đường đua xe Công thức 1.
** ‘Ta không thể so sánh một quá trình bất kỳ nào với ‘dòng thời gian’ – không có một quá trình nào như vậy – mà chỉ có thể so sánh với một quá trình khác (thí dụ như với sự hoạt động của một thời kế).’
*** ‘Nếu thời gian là một con sông thì đáy của nó là cái gì?’



thuận nghịch của thời gian' và sự lạm dụng 'mũi tên thời gian' vẫn còn phổ biến. Bạn chỉ cần đọc một tạp chí khoa học phổ thông được chọn một cách ngẫu nhiên. Vấn đề ở đây là: ta không thể đảo ngược thời gian mà chỉ có thể đảo ngược chuyển động hay nói chính xác hơn, chỉ có thể đảo ngược vận tốc của vật; thời gian không có hướng, chỉ có chuyển động là có; không phải là người ta không thể chặn đứng dòng thời gian mà là không thể chặn đứng chuyển động của mọi vật trong thiên nhiên. Điều khó tin là có nhiều sách của các nhà vật lý đáng kính đã nghiên cứu các loại 'mũi tên thời gian' khác nhau và so sánh chúng với nhau. Điều chắc chắn là người ta sẽ không rút ra được một kết quả xác thực và mới mẻ nào.

Câu đố 47 e

Xem 40

▷ Thời gian *không* chảy. Chỉ có vật thể là chảy.

Thời gian không có hướng. Chuyển động thì có. Tương tự như vậy, ta cũng nên tránh những cách diễn đạt thông dụng như 'khởi đầu (hay kết thúc) của thời gian'. Một chuyên gia về chuyển động sẽ diễn dịch chúng một cách chính xác thành 'khởi đầu (hay kết thúc) của chuyển động'.

Không gian là gì?

> Việc đưa các con số vào toạ độ [...] là một hành động bạo lực [...].
>
> Hermann Weyl, *Philosophie der Mathematik und Naturwissenschaft.**

Khi ta phân biệt 2 vật với nhau, như 2 ngôi sao, thì đầu tiên ta phân biệt vị trí của chúng. Ta phân biệt vị trí bằng thị giác, xúc giác, nội cảm và thính giác. Vị trí là một tính chất quan trọng của trạng thái vật lý của một vật. Một vật chỉ có 1 vị trí tại 1 thời điểm. Vị trí bị giới hạn. Tập hợp các vị trí khả hữu được gọi là *không gian (vật lý)*, đóng 2 vai trò là vật chứa và nền tảng.

Có liên hệ mật thiết với không gian và vị trí là *kích thước*, tập hợp các vị trí mà vật đang chiếm. Vật nhỏ chỉ chiếm những tập hợp con của các vị trí mà vật lớn chiếm cứ.

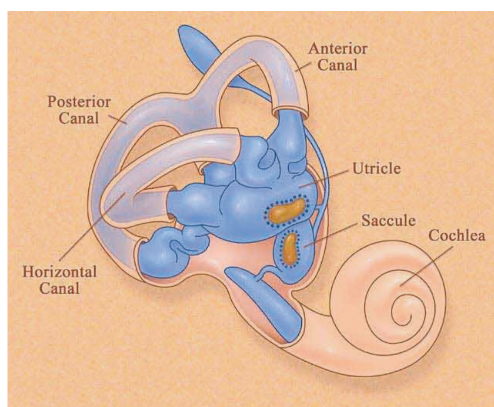
Trang 54

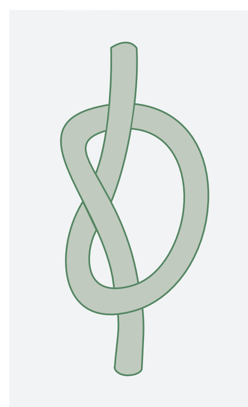
Làm cách nào để chúng ta suy ra không gian từ sự quan sát? Trong thời niên thiếu, con người (và phần lớn các động vật cao cấp) đã biết gom các *cảm nhận* khác nhau về không gian, cụ thể là thị giác, xúc giác, thính giác, cảm giác về vận động, tiền đình..., thành một tập hợp kinh nghiệm và mô tả nhất quán. Kết quả của quá trình học tập này là một khái niệm nào đó về không gian xuất hiện trong não. Thật vậy, câu hỏi 'Ở đâu?' có thể được hỏi và trả lời trong mọi ngôn ngữ trên thế giới. Nói chính xác hơn, người trưởng thành nhận biết không gian từ việc đo khoảng cách. Các khái niệm chiều dài, diện tích, thể tích, góc và góc khối đều được suy ra từ đó. Các nhà hình học, nhân viên trắc địa, kiến trúc sư, thiên văn gia, người bán thảm và các nhà sản xuất thước đo đều kinh doanh dựa trên việc đo khoảng cách.

▷ Không gian được tạo nên từ tất cả các mối liên hệ về vị trí và khoảng cách

* Hermann Weyl (1885–1955) là một toán gia cũng như một nhà vật lý lý thuyết quan trọng nhất trong thời đại của ông. Ông là một nhà phổ quát luận sau cùng trong cả 2 lĩnh vực, một người đóng góp rất nhiều cho Thuyết Lượng tử và Thuyết tương đối, người đặt ra thuật ngữ lý thuyết 'chuẩn' và là tác giả của nhiều sách giáo khoa phổ thông.







HÌNH 21 Hai vật chứng tỏ không gian có 3 chiều: mê cung tiền đình ở tai trong của động vật hữu nhũ (ở đây là con người) có 3 ống và một gút dây (© Northwestern University).

giữa các vật bằng cách sử dụng thước đo.

Con người phát minh thước đo để xác định khoảng cách, vị trí và kích thước cho thật chính xác.

Thước đo chỉ hoạt động tốt nếu nó thẳng. Nhưng khi con người sống trong rừng, không có vật nào thẳng ở chung quanh họ. Không thước thẳng, không dụng cụ, không có gì. Ngày nay, cảnh quan đô thị chủ yếu là tập hợp các đường thẳng. Bạn có thể mô tả cách thức để loài người đạt được điều này không? Câu đố 48 s

Một khi con người bước ra khỏi rừng rậm cùng với thước đo mới tạo ra, họ đã thu lượm được rất nhiều kết quả. Các kết quả chính được liệt kê trong Bảng 9; ta có thể kiểm chứng những điều này một cách dễ dàng qua kinh nghiệm cá nhân. Đặc biệt, vật có thể chiếm các vị trí mà nhìn bên ngoài có vẻ *liên tục*: thật ra có nhiều vị trí hơn ta đếm.* Ta có thể tìm được kích thước bằng cách xác định khoảng cách giữa hai vị trí khác nhau, tức là *chiều dài*, hay bằng cách sử dụng thị trường của một vật mà ta có được khi tiếp xúc với nó, tức là *diện tích bề mặt*. Chiều dài và diện tích có thể đo được nhờ một thước thẳng. (Một số kết quả đo được có trong Bảng 10; một số dụng cụ đo chiều dài được trình bày trong Hình 23.) Chiều dài của vật độc lập với người đo nó, với vị trí và hướng của vật. Trong đời sống hằng ngày tổng 3 góc tam giác bằng 2 góc vuông. Khoảng cách, chiều dài và không gian không có giới hạn.

Kinh nghiệm cho ta thấy không gian có 3 chiều; ta có thể xác định một dãy các vị trí một cách chính xác bằng 3 cách độc lập. Thật vậy, tai trong của mọi động vật có xương sống có 3 ống bán khuyên cảm nhận được gia tốc của cơ thể theo 3 chiều trong không gian như ta thấy trong Hình 21.** Tương tự như vậy, mắt người chuyển động nhờ 3 cặp bắp thịt. (Tại sao lại là 3?) Một bằng chứng không gian có 3 chiều nữa là dây giày: nếu không gian có nhiều hơn 3 chiều, dây giày sẽ vô dụng vì gút chỉ có trong không gian 3 chiều. Nhưng tại sao không gian có 3 chiều? Đây là một trong những câu hỏi khó trả lời nhất trong Vật lý. Lúc này chúng ta chưa trả lời nó. Câu đố 49 s

* Về định nghĩa của tính không đếm được, hay xem Trang 287 trong quyển III.
** Cũng nên nhớ rằng khi ta nói không gian có 3 chiều là ta đã *hàm ý* rằng không gian liên tục; toán gia và triết gia Luitzen Brouwer (b. 1881 Overschie, d. 1966 Blaricum) đã chứng tỏ rằng thứ nguyên chỉ là khái niệm hữu ích đối với các tập hợp liên tục.



BẢNG 9 Các tính chất của không gian Galilei.

Điểm hay vị trí trong không gian	Tính chất vật lý	Tên toán học	Định nghĩa
Có thể phân biệt được	tính phân biệt được	phần tử của một tập hợp	Quyển III, trang 283
Có thể xếp thành hàng nếu nằm trên một đường thẳng	dãy	thứ tự	Quyển V, trang 366
Có thể tạo thành các hình dạng	hình dạng	topo	Quyển V, trang 365
Nằm trên 3 hướng độc lập	tính khả hữu của gút	tính 3 chiều	Trang 81, Quyển IV, trang 236
Khoảng cách có thể bằng 0	tính liên tục	tính trù mật, tính đầy đủ	Quyển V, trang 366
Xác định khoảng cách	tính đo được	tính metric	Quyển IV, trang 236
Cho phép cộng các độ dịch chuyển	cộng tính	tính metric	Quyển IV, trang 236
Xác định góc	tích vô hướng	không gian Euclide	Trang 81
Không ẩn giấu sự bất ngờ	tính bất biến đối với phép tĩnh tiến	tính thuần nhất	
Không có giới hạn	tính vô hạn	tính không giới nội	Quyển III, trang 285
Xác định đối với mọi quan sát viên	tính tuyệt đối	tính duy nhất	Trang 53

Câu đố 50 s

Người ta thường nói rằng không thể suy nghĩ trong không gian 4 chiều. Điều này sai. Chỉ cần thử. Bạn có thể chứng minh rằng không thể có gút 4 chiều hay không?

Giống như thời gian, ta có thể mô tả chiều dài một cách chính xác nhờ sự giúp đỡ của *số thực*. Để cho việc giao tiếp được đơn giản, người ta sử dụng các *đơn vị* chuẩn để mọi người có số đo giống nhau với cùng một chiều dài. Đơn vị cho phép ta tìm hiểu các tính chất tổng quát của *không gian Galilei* bằng thực nghiệm: không gian, vật chứa các vật thì liên tục, có 3 chiều, đẳng hướng, thuần nhất, vô hạn, Euclide và duy nhất – hay 'tuyệt đối'. Trong toán học, một cấu trúc hay khái niệm toán học có đủ mọi tính chất vừa đề cập được gọi là *không gian Euclide* 3 chiều. Các phần tử của nó, *điểm (toán học)*, được mô tả bằng 3 tham số thực. Chúng thường được viết như sau

$$(x, y, z) \tag{1}$$

Trang 81

và được gọi là *toạ độ*. Chúng xác định và sắp thứ tự vị trí của một vật trong không gian. (Một định nghĩa chính xác của không gian Euclide có ở dưới đây.)

Người ta đã mất 2000 năm để xác lập những điều được mô tả trong 1/2 trang giấy ở đây, chủ yếu là vì các khái niệm 'số thực' và 'toạ độ' đã được tìm ra trước. Người đầu tiên mô tả điểm trong không gian bằng cách này là toán gia và triết gia nổi tiếng René





HÌNH 22 René Descartes (1596–1650).

Descartes*, và do đó toạ độ của biểu thức (1) được đặt tên là *Cartesius*.

Cũng giống như thời gian, không gian là khái niệm *cần thiết* để ta có thể mô tả thế giới. Thật vậy, không gian được tự động đưa ra khi ta mô tả các tình trạng có nhiều vật. Thí dụ như khi có nhiều hình cầu nằm trên bàn billiard, ta phải dùng không gian để mô tả mối liên hệ của chúng. Không thể tránh việc sử dụng các khái niệm không gian khi nói về thiên nhiên.

Mặc dù ta cần không gian để nói về thiên nhiên, nhưng việc hỏi lý do để việc này có thể xảy ra cũng là điều thú vị. Vì có nhiều phương pháp đo chiều dài – một số được liệt kê trong Bảng 11 – và vì tất cả đều cho các kết quả nhất quán nên phải có một phương pháp đo khoảng cách, kích thước và độ thẳng *tự nhiên* hay *lý tưởng*. Bạn có thể tìm ra nó không?

Câu đố 51 s

Tương tự như trong trường hợp thời gian, mỗi tính chất của không gian đã liệt kê phải được kiểm tra. Và một lần nữa, việc quan sát kỹ lưỡng chúng tỏ rằng các tính chất đều gần đúng. Nói một cách đơn giản và mạnh mẽ hơn, *mọi* tính chất đều sai. Điều này khẳng định phát biểu của Weyl ở đầu phần này. Đúng ra phát biểu của ông về sự thô bạo có liên quan tới sự giới thiệu các con số đã được kể lại ở khắp nơi trên thế giới. Phần còn lại của cuộc phiêu lưu sẽ chứng tỏ điều này.

> “Μέτρον ἄριστον.**”
>
> Cleobulus

Không gian và thời gian có tính tuyệt đối hay tương đối?

Trong đời sống thông thường, các khái niệm của không gian và thời gian Galilei bao gồm hai mặt đối lập; sự tương phản này đã ảnh hưởng đến mọi cuộc tranh luận trong nhiều thế kỷ. Một mặt, không gian và thời gian biểu thị cho sự bất biến và vĩnh cửu; cả hai có tác dụng như *vật chứa* lớn dành cho mọi vật và sự kiện trong thiên nhiên. Theo cách nhìn nhận này thì không gian và thời gian có một sự hiện hữu riêng biệt. Với ý nghĩa này thì ta có thể nói rằng chúng có tính cơ bản hay *tuyệt đối*. Mặt khác, không gian và thời gian là các công cụ mô tả cho phép ta nói về mối liên hệ giữa các vật thể. Theo quan điểm này, chúng sẽ không còn ý nghĩa nếu ta tách chúng khỏi các vật thể và chúng chỉ là kết quả của mối liên hệ giữa các vật thể; chúng được dẫn xuất, có tính chất

* René Descartes hay Cartesius (b. 1596 La Haye, d. 1650 Stockholm), toán gia và triết gia, tác giả của phát biểu nổi tiếng ‘je pense, donc je suis’, mà ông đã dịch thành ‘cogito ergo sum’ – Tôi tư duy nên tôi tồn tại. Theo quan điểm của ông thì đây là mệnh đề duy nhất mà người ta có thể khẳng định.

** ‘Đó là (điều) tốt nhất.’ Cleobulus (Κλεοβουλος) of Lindos, (*c.* 620–550 BCE) là một người trong thất hiền.



BẢNG 10 Một số giá trị khoảng cách đã đo được.

Đối tượng được đo	Giá trị
Bước sóng Compton của thiên hà	10^{-85} m (theo tính toán)
Chiều dài Planck, chiều dài đo được ngắn nhất	10^{-35} m
Đường kính Proton	1 fm
Bước sóng Compton của electron	2.426 310 215(18) pm
Dao động nhỏ nhất trong không khí mà tai người có thể phát hiện được	11 pm
Kích thước nguyên tử Hydrogen	30 pm
Kích thước vi khuẩn nhỏ	0.2 μm
Bước sóng của ánh sáng khả kiến	0.4 tới 0.8 μm
Bán kính của lưỡi dao cạo bén	5 μm
Điểm: đường kính của một vật nhỏ nhất có thể thấy được bằng mắt trần	20 μm
Đường kính của sợi tóc người (từ mảnh tới dày)	30 tới 80 μm
Chiều dài tổng cộng của DNA trong mỗi tế bào của con người	2 m
Sinh vật lớn nhất, nấm *Armillaria ostoyae*	3 km
Cú ném xa nhất của con người với một vật bất kỳ, bằng cách dùng một boomerang	427 m
Kiến trúc cao nhất do con người xây dựng, Burj Khalifa	828 m
Lưới nhện rộng nhất ở Mexico	*c.* 5 km
Chiều dài xích đạo của Trái đất	40 075 014.8(6) m
Chiều dài tổng cộng của các mạch máu trong người (ước tính thô)	4 tới $16 \cdot 10^4$ km
Chiều dài tổng cộng của các tế bào thần kinh của người (ước tính thô)	1.5 tới $8 \cdot 10^5$ km
Khoảng cách trung bình tới Mặt trời	149 597 870 691(30) m
Năm ánh sáng	9.5 Pm
Khoảng cách tới một ngôi sao điển hình lúc ban đêm	10 Em
Kích thước của thiên hà	1 Zm
Khoảng cách tới thiên hà Andromeda	28 Zm
Vật khả kiến xa nhất	125 Ym

Câu đố 52 e quan hệ hay *tương đối*. Bạn thích quan điểm nào? Các kết quả của Vật lý luân phiên ủng hộ cho quan điểm này hay quan điểm kia. Ta sẽ lặp lại sự luân phiên này trong suốt cuộc hành trình, cho tới khi tìm ra lời giải. Và dĩ nhiên nó sẽ là tuỳ chọn thứ 3. Xem 41

Kích thước – lý do tại sao ta có chiều dài và diện tích mà không có thể tích

Một tính chất quan trọng của vật thể là kích thước của nó. Khi còn nhỏ, ở tuổi còn đi học, mỗi người đều biết cách dùng các tính chất về kích thước và không gian trong mọi hoạt động của mình. Lúc trưởng thành thì họ lại tìm kiếm sự chính xác với định nghĩa





HÌNH 23 Ba dụng cụ đo khoảng cách và chiều dài cơ học (thước kẹp có du xích, trắc vi kế, một sợi râu) và 3 dụng cụ đo khoảng cách và chiều dài quang học (mắt, thước laser, màn ánh sáng) (© www.medien-werkstatt.de, Naples Zoo, Keyence, and Leica Geosystems).

khoảng cách là hiệu 2 toạ độ cho phép ta xác định *chiều dài* bằng một phương pháp đáng tin cậy. Phải mất cả trăm năm để người ta khám phá ra rằng điều này *không* đơn giản như vậy. Nhiều nghiên cứu trong Vật lý và Toán học cho thấy sự việc phức tạp hơn.

Vấn đề khởi đầu từ câu hỏi tưởng chừng đơn giản của Lewis Richardson:* Chiều dài bờ biển phía tây của nước Anh là bao nhiêu?

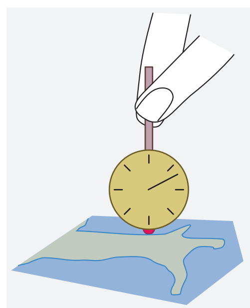
Lần theo bờ tây trên bản đồ bằng một hành trình kế, một thiết bị trong Hình 24,

* Lewis Fray Richardson (1881–1953), Vật lý gia và tâm lý gia người Anh.



BẢNG 11 Các dụng cụ đo chiều dài trong sinh học và trong kỹ thuật.

Công việc đo	Dụng cụ đo	Phạm vi đo
Người		
Đo hình dạng người, thí dụ khoảng cách ngón tay, vị trí mắt, khoảng cách răng	các cảm biến bắp thịt	0.3 mm tới 2 m
Đo khoảng cách của các vật	thị giác lập thể	1 tới 100 m
Đo khoảng cách của các vật	tiếng vọng của âm thanh	0.1 tới 1000 m
Động vật		
Đo kích thước của một cái lỗ	râu	lên tới 0.5 m
Đo đoạn đường của một con kiến sa mạc đi được	máy đếm bước	lên tới 100 m
Đo khoảng cách mà ong mật bay được	mắt	lên tới 3 km
Đo khoảng cách mà cá mập bơi được	bản đồ từ trường	lên tới 1000 km
Rắn đo khoảng cách đến con mồi	cảm biến hồng ngoại	lên tới 2 m
Dơi, cá heo, cá voi đo khoảng cách đến con mồi	sonar	lên tới 100 m
Chim ăn thịt đo khoảng cách đến con mồi	thị giác	0.1 tới 1000 m
Máy móc		
Đo khoảng cách của các vật bằng laser	sự phản xạ ánh sáng	0.1 m tới 400 Mm
Đo khoảng cách của các vật bằng radar	tiếng vọng vô tuyến	0.1 tới 50 km
Đo chiều dài vật	giao thoa kế	0.5 µm tới 50 km
Đo khoảng cách sao, thiên hà hay quasar	phản ứng phân rã mạnh	lên tới 125 Ym
Đo kích thước hạt	máy gia tốc	xuống tới 10^{-18} m

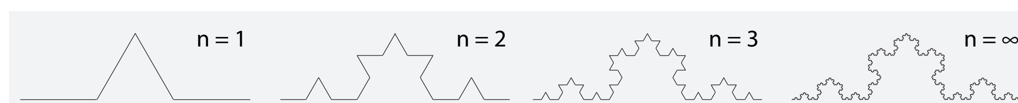



HÌNH 24 Một máy đo chiều dài đường cong và một hành trình kế (photograph © Frank Müller).

Richardson nhận thấy rằng chiều dài l này phụ thuộc vào tỷ lệ xích s (thí dụ 1 : 10 000 hay 1 : 500 000) của bản đồ:

$$l = l_0 \, s^{0.25} \qquad (2)$$





HÌNH 25 Một thí dụ về đường fractal: một đường cong tự đồng dạng có chiều dài vô hạn (hình bên trái) và cách dựng.

(Với bờ biển khác thì Richardson lại tìm thấy các số mũ khác.) Con số l_0 là chiều dài ở tỷ lệ 1 : 1. Kết quả quan trọng là bản đồ càng lớn thì bờ biển càng dài. Điều gì sẽ xảy ra nếu tỷ lệ vượt hơn kích thước gốc? Chiều dài sẽ vượt mọi giới hạn. Bờ biển có thực sự có chiều dài *vô hạn* hay không? Điều đó có thể xảy ra. Đúng ra các nhà toán học đã mô tả nhiều đường cong như vậy; ngày nay, chúng được gọi là các *đường fractal*. Có vô số các đường như vậy và Hình 25 là một thí dụ.* Bạn có thể dựng được một hình nào khác
Câu đố 53 e không?

Chiều dài có những tính chất kỳ lạ khác. Toán gia Giuseppe Vitali là người đầu tiên khám phá ra là ta có thể cắt một đoạn thẳng có chiều dài bằng 1 thành nhiều mảnh rồi ráp chúng lại – chỉ bằng cách dịch chuyển chúng theo phương của đoạn thẳng – thành một đoạn thẳng có chiều dài là 2. Bạn có thể tìm được một cách phân chia như vậy bằng
Câu đố 54 d cách sử dụng gợi ý là chỉ có thể chia được bằng cách sử dụng vô số mảnh hay không?

Tóm lại

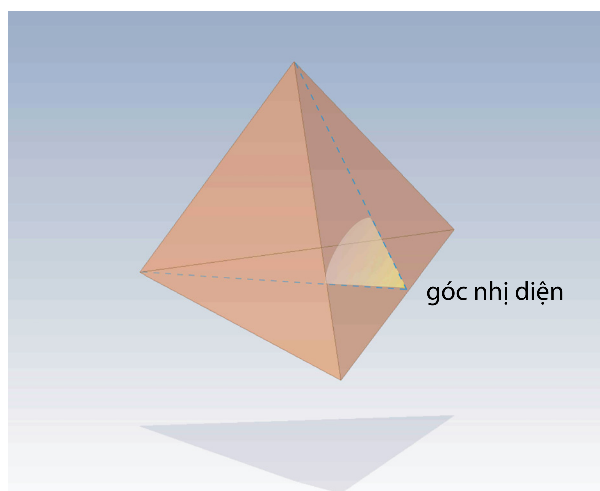
▷ Chiều dài hiện hữu. Nhưng ta chỉ có thể xác định chính xác chiều dài của những đường thẳng hay đường cong đơn giản chứ không thể thực hiện đối với các đường phức tạp hay những đường có thể cắt thành vô số mảnh.

Do đó trong phần sau đây, ta tránh các đường fractal, các đường cong có hình dạng kỳ lạ khác và hết sức thận trọng khi nói về các đoạn nhỏ vô hạn. Đây là những giả định chính trong 5 quyển đầu tiên của bộ sách này và ta sẽ không bao giờ quên những điều này! Ta sẽ trở lại với chúng ở quyển sau cùng.

Đúng ra tất cả các vấn đề này đều bị lu mờ khi so với bài toán sau đây. Thông thường diện tích và thể tích được xác định theo chiều dài. Bạn có nghĩ rằng nó là điều dễ làm không? Bạn sẽ sai lầm cũng như sẽ là một nạn nhân của các định kiến lan toả trong các trường học trên khắp thế giới. Để xác định diện tích và thể tích cho chính xác, việc xác định phải có 2 tính chất: giá trị phải có *cộng tính*, tức là đối với các tập hợp hữu hạn và vô hạn của các vật thể, diện tích và thể tích toàn phần phải là tổng của diện tích và thể tích của mỗi phần tử trong tập hợp; và chúng phải *rắn*, tức là nếu ta cắt một diện tích hay một thể tích thành nhiều mảnh rồi sắp xếp các mảnh trở lại thì giá trị phải không đổi. Ta có thể làm như vậy không? Nói cách khác, có các khái niệm diện tích và thể tích như vậy hay không?

* Phần lớn các đường cong này có tính *tự đồng dạng*, tức là tuân theo các 'định luật' tỷ lệ như ta đã để cập ở trên. Thuật ngữ 'fractal' bắt nguồn từ toán gia Benoît Mandelbrot để chỉ một tính chất kỳ lạ: theo một nghĩa nào đó, chúng có số chiều D không phải là số nguyên, mặc dù theo phép dựng thì chúng có 1 chiều. Mandelbrot nhận thấy rằng số chiều không nguyên có liên hệ với số mũ e của Richardson theo công thức
Xem 42 $D = 1 + e$, nên $D = 1.25$ trong thí dụ trên. Số D thay đổi theo từng trường hợp cụ thể. Việc đo đạc cho ta $D = 1.14$ đối với biên giới của Bồ Đào Nha, $D = 1.13$ đối với bờ biển của Úc và $D = 1.02$ đối với bờ biển Nam Phi.





HÌNH 26 Một đa diện với một trong các góc nhị diện (© Luca Gastaldi).

Đối với diện tích trong một mặt phẳng, ta làm theo cách tiêu chuẩn sau đây: định nghĩa diện tích A của một hình chữ nhật cạnh a và b là $A = ab$; vì một đa giác bất kỳ đều Câu đố 55 s có thể xếp lại thành một hình chữ nhật với một số hữu hạn lát cắt thẳng nên ta có thể tìm được diện tích của mọi đa giác. Tiếp theo ta có thể xác định diện tích các hình cong đơn giản bằng cách tìm giới hạn của tổng vô hạn các đa giác. Phương pháp này được gọi Trang 249 là *phép tính tích phân*; nó sẽ được giới thiệu chi tiết trong phần tác dụng vật lý.

Tuy vậy, phép tính tích phân không cho phép ta xác định diện tích của một miền giới Câu đố 56 s nội bất kỳ. (Bạn có thể hình dung ra một miền như vậy không?) Để có một định nghĩa đầy đủ ta cần các công cụ phức tạp hơn. Chúng được nhà toán học nổi tiếng Stefan Banach khám phá vào năm 1923.* Ông đã chứng minh rằng thật ra ta có thể xác định diện tích của một tập hợp điểm bất kỳ, dù cho ranh giới của nó không phải là một đường cong đơn giản mà cực kỳ phức tạp như đường fractal mà ta đã đề cập trước đây. Ngày nay khái niệm diện tích tổng quát này, về mặt kỹ thuật là một 'số đo bất biến đẳng cự có cộng tính hữu hạn', được gọi là *độ đo Banach* để vinh danh ông. Các toán gia tóm tắt điều này bằng cách nói rằng vì trong không gian 2 chiều có một độ đo Banach nên ta có cách để định nghĩa khái niệm diện tích – một độ đo rắn và có cộng tính – đối với một tập hợp điểm bất kỳ.** Tóm lại,

▷ Diện tích hiện hữu. Ta chỉ có thể xác định chính xác diện tích đối với các mặt phẳng hay các mặt đơn giản chứ nếu các hình dạng phức tạp thì không thể.

Trường hợp trong không gian 3 chiều, tức là đối với thể tích thì như thế nào? Ta có

* Stefan Banach (b. 1892 Krakow, d. 1945 Lvov), toán gia quan trọng người Ba Lan.

** Thật ra điều này chỉ đúng đối với các tập hợp điểm trên mặt phẳng. Đối với mặt cong, như mặt cầu, có những điều phức tạp mà ta không bàn ở đây. Ngoài ra, các bài toán xác định chiều dài đường fractal lại xuất hiện đối với diện tích nếu mặt được đo không phẳng. Một thí dụ điển hình là diện tích của phổi người: tuỳ theo mức độ chi tiết được xét, diện tích sẽ thay đổi từ một vài mét vuông đến hàng trăm mét vuông.



thể bắt đầu theo một cách tương tự như trường hợp diện tích, bằng cách định nghĩa thể tích V của một đa diện chữ nhật có cạnh a, b, c là $V = abc$. Nhưng lúc đó ta sẽ gặp vấn đề đầu tiên: một đa diện tổng quát không thể cắt thành một hình lập phương bằng các lát cắt thẳng! Sự giới hạn được Max Dehn khám phá vào năm 1900 và 1902.* Ông nhận thấy rằng khả năng này tuỳ thuộc vào giá trị của các góc nhị diện, như các nhà toán học thường gọi. (Chúng được xác định trong Hình 26.) Nếu ta gán cho mỗi cạnh của đa diện tổng quát một con số bằng chiều dài của nó l nhân với một hàm đặc biệt $g(\alpha)$ của góc nhị diện α, thì Dehn nhận thấy rằng tổng của các số đó đối với một vật rắn không thay đổi qua sự phân hoạch, miễn là hàm này thoả hệ thức $g(\alpha+\beta) = g(\alpha)+g(\beta)$ và $g(\pi) = 0$. Một thí dụ về hàm g như vậy là phép gán 0 cho các bội hữu tỷ của π và 1 cho tập hợp cơ bản của các bội vô tỷ của π. Giá trị của tất cả các góc nhị diện khác của đa diện có thể tính được bằng tổ hợp các bội hữu tỷ của các góc cơ bản này. Bằng việc sử dụng hàm
Câu đố 57 s này, bạn có thể tự suy ra rằng một hình lập phương không thể được phân hoạch thành một tứ diện đều vì bất biến Dehn tương ứng của chúng khác nhau.**

Không kể các bài toán với các bất biến Dehn, ta vẫn có khái niệm thể tích rắn và có cộng tính của một đa diện, vì một cách tổng quát thì đối với mọi đa diện và các hình 'cong đơn giản', ta vẫn có thể xác định thể tích nhờ phép tính tích phân.

Bây giờ ta hãy xem xét các hình và các lát cắt tổng quát trong không gian 3 chiều, không 'đơn giản' như ta đã đề cập từ trước tới giờ. Như vậy ta sẽ gặp phải nghịch lý *h*ay
Xem 43 định lý Banach–Tarski. Năm 1924, Stefan Banach và Alfred Tarski*** đã chứng tỏ rằng ta có thể cắt một hình cầu thành 5 mảnh có thể kết hợp lại thành *2* hình cầu, mỗi hình có kích thước bằng hình cầu ban đầu. Kết quả phản trực giác này là định lý Banach–Tarski. Một phiên bản mạnh hơn phát biểu rằng: lấy 2 tập hợp bất kỳ không mở rộng ra vô hạn, mỗi tập hợp chứa một hình cầu rắn; ta luôn luôn có thể phân hoạch tập hợp này thành tập hợp kia bằng một số *hữu hạn* lát cắt. Đặc biệt ta có thể phân hoạch một hạt đậu thành Trái đất, và ngược lại. Kích thước không là vấn đề!**** Tóm lại, thể tích là một khái niệm vô dụng!

Định lý Banach–Tarski làm nảy sinh 2 câu hỏi: một, kết quả này có thể áp dụng cho vàng hay bánh mì không? Việc đó sẽ giải quyết được nhiều vấn đề. Hai, kết quả này có thể áp dụng cho không gian trống rỗng được không? Nói cách khác, vật chất và không
Câu đố 58 s gian trống rỗng có liên tục không? Cả hai chủ đề này sẽ được tìm hiểu sau; mỗi vấn đề sẽ có các hệ quả đặc biệt, riêng của nó. Vào lúc này, ta loại vấn đề rắc rối này bằng cách giới hạn sự quan tâm của chúng ta – một lần nữa – vào các hình cong (và dao cắt) trơn nhẵn. Với sự hạn chế này, thể tích của vật chất và không gian trống rỗng giống nhau: chúng rắn và có cộng tính, không có gì là nghịch lý.***** Thật vậy, các lát cắt mà nghịch

* Max Dehn (b. 1878 Hamburg, d. 1952 Black Mountain), toán gia, học trò của David Hilbert.

** Điều này cũng được kể lại trong một quyển sách giá trị của M. Aigler & G. M. Ziegler, *Proofs from the Book*, Springer Verlag, 1999. Tựa đề này bắt nguồn từ thói quen nổi tiếng của toán gia vĩ đại Paul Erdős để tưởng tượng ra rằng mọi chứng minh toán học đẹp đẽ đều có thể thu thập trong 'quyển sách của các chứng minh' này.

*** Alfred Tarski (b. 1902 Warsaw, d. 1983 Berkeley), một toán gia có uy tín.

**** Chứng minh của kết quả này không cần nhiều toán học; nó đã được Ian Stewart giải thích rõ ràng trong *Paradox of the spheres*, New Scientist, 14 January 1995, pp. 28–31. Chứng minh này dựa trên tiên đề chọn, sẽ được trình bày sau đây. Nghịch lý Banach–Tarski cũng có trong không gian 4 chiều, vì nó đúng
Quyển III, trang 285 trong không gian bất kỳ có số chiều lớn hơn. Các chi tiết về toán học có thể tìm được trong quyển sách
Xem 44 tuyệt vời của Stan Wagon.

***** Các toán gia nói rằng *độ đo Lebesgue* là đủ cho Vật lý. Độ đo bất biến đẳng cự có cộng tính đếm được





HÌNH 27 Các đường thẳng tìm thấy trong thiên nhiên: cerussite (chiều rộng khoảng 3 mm, © Stephan Wolfsried) và selenite (chiều rộng khoảng 15 m, © Arch. Speleoresearch & Films/La Venta at www.laventa.it and www.naica.com.mx).

lý Banach–Tarski đòi hỏi thì không trơn nhẵn; ta không thể thực hiện việc này bằng các con dao thông thường, vì chúng cần (vô hạn) số chỗ uốn rất gắt được thực hiện bằng những con dao rất nhọn. Ta không có những con dao như vậy. Tuy vậy, ta vẫn nên nhớ rằng kích thước của một vật hay một mảnh không gian trống rỗng là một đại lượng phức tạp – và điều mà ta cần là thận trọng khi đề cập đến nó.

Tóm lại,

▷ Thể tích chỉ có dạng gần đúng. Ta chỉ có thể xác định nó một cách chính xác đối với những miền có bề mặt trơn nhẵn. Nhìn chung thì thể tích không hiện hữu, khi ta không có các lát cắt vô cùng sắc.

Ta tránh các thể tích, bề mặt và các đường cong có hình dạng kỳ lạ trong phần sau đây và thận trọng khi nói về các đại lượng vô cùng nhỏ. Ta *chỉ* có thể nói về chiều dài, diện tích và thể tích với sự ràng buộc này. Sự né tránh này là một giả thiết quan trọng trong 5 quyển đầu tiên của bộ sách. Cũng cần nói thêm: ta không nên quên các ràng buộc này, ngay cả khi chúng không gây ra vấn đề gì trong cuộc sống hằng ngày. Ta sẽ trở lại các giả thiết này ở phần cuối cuộc thám hiểm.

Thẳng là gì?

Khi bạn thấy một vật rắn có một cạnh thẳng, thì bạn có 99 % chắc ăn khi đánh cược rằng nó là vật nhân tạo. Dĩ nhiên có ngoại lệ, như ta thấy trong Hình 27.* Tinh thể lớn Xem 46 nhất mà người ta từng tìm thấy có chiều dài 18 m. Nhưng nhìn chung, sự tương phản giữa các vật trong một thành phố – cao ốc, bàn ghế, xe, cột điện, hộp, sách – và các vật trong rừng – cây cỏ, đá, mây – là điều hiển nhiên: trong rừng không có vật nào thẳng hay phẳng, trong khi phần lớn các vật ở đô thị thì ngược lại.

Trang 478 Một khu rừng bất kỳ có thể chỉ cho ta thấy nguồn gốc của độ thẳng; nó là các thân cây cao và các tia nắng xuyên qua kẽ lá. Vì lý do này ta gọi một đường là *thẳng* nếu nó tiếp

này cho ta một cách định nghĩa thể tích tổng quát nhất.

Câu đố 59 ny * Tại sao các tinh thể có cạnh thẳng? Một thí dụ khác về các đường thẳng trong thiên nhiên không dính Trang 429 dáng tới cấu trúc nguyên tử, là các thành hệ địa chất ở Ireland được gọi là Giant's Causeway. Ta có thể nhớ Xem 45 đến một loại vi khuẩn có hình (gần như) vuông hay tam giác nhưng nó không phải là phản thí dụ vì hình dạng này chỉ có tính gần đúng.





HÌNH 28 Hình Trái đất – nhìn từ hướng của Mặt trời (NASA).

xúc với một dây dọi hay một tia sáng suốt cả chiều dài của nó. Đúng ra hai định nghĩa này tương đương. Bạn có thể chứng minh điều này không? (Đây không phải là một câu hỏi dễ.) Bạn có thể tìm thấy một thí dụ khác không? Dĩ nhiên ta gọi một mặt là *phẳng* nếu theo một hướng và vị trí bất kỳ đã chọn, bề mặt này tiếp xúc với một dây dọi hay một tia sáng trên toàn bộ phần mở rộng của nó.

Câu đố 60 s

Tóm lại, khái niệm độ thẳng – và độ phẳng – được định nghĩa nhờ vật thể và bức xạ. Đúng ra mọi khái niệm không gian, giống như mọi khái niệm về thời gian, đều cần có chuyển động để định nghĩa nó.

Trái đất có rỗng không?

Không gian và tính thẳng đặt ra một thách thức khó chịu. Một số người lập dị luôn cho rằng ta đang sống *bên trong* một hình cầu; họ gọi đây là *mô hình Trái đất rỗng*. Họ cho rằng Mặt trăng, Mặt trời và ngôi sao nằm gần tâm hình cầu rỗng, như được minh hoạ trong Hình 29. Họ cũng giải thích rằng ánh sáng đi theo các đường cong trên bầu trời và các nhà vật lý theo thông lệ nói về khoảng cách r từ tâm Trái đất thì khoảng cách trong Trái đất rỗng là $r_{he} = R^2_{Earth}/r$. Bạn có thể chứng minh mô hình này sai không? Roman Sexl* thường hỏi học trò và các đồng nghiệp câu này.

Xem 47

Câu đố 61 s

Câu trả lời cũng đơn giản: nếu bạn nghĩ rằng mình có một luận cứ để chứng minh rằng mô hình Trái đất rỗng sai thì bạn đã sai! *Không có* cách nào để chứng minh quan

* Roman Sexl, (1939–1986), vật lý gia Áo nổi tiếng, tác giả nhiều sách giáo khoa về sự hấp dẫn và Thuyết tương đối có uy tín.





HÌNH 29 Một mô hình minh hoạ cho thuyết Trái đất rỗng, cho thấy cách ngày và đêm xuất hiện (© Helmut Diehl).

niệm đó sai. Ta có thể giải thích chân trời, ngày và đêm, cũng như hình chụp Trái đất từ vệ tinh cho thấy Trái đất tròn như trong Hình 28. Để giải thích những điều xảy ra trong một chuyến bay tới Mặt trăng cũng khá thú vị. Một quan niệm Trái đất rỗng hoàn toàn *tương đương* với hình ảnh thông thường của một không gian rộng vô hạn. Ta sẽ trở lại vấn đề này trong phần Thuyết tương đối tổng quát.

Câu đố 62 e

Quyển II, trang 291

Các câu đố vui và lạ về không gian và thời gian thông thường

Câu đố 63 s

Làm cách nào để người ta có thể đo được tốc độ của một viên đạn bằng một đồng hồ bấm giờ, trong phạm vi 1 m^3, mà không có thiết bị điện tử? Gợi ý: phương pháp tương tự cũng đã được sử dụng để đo tốc độ ánh sáng.

* *

Có một mô phỏng tương tác rất hấp dẫn cho ta du hành trên tất cả các thang đo chiều dài trong thiên nhiên, từ chiều dài Planck cho tới toàn thể vũ trụ ở website www.htwins.net/scale2/.

* *

Câu đố 64 s

Vật nào nhanh hơn: mũi tên hay xe gắn máy?

* *

Câu đố 65 s

Tại sao miệng cống luôn có hình tròn?



* *

Bạn có thể chứng minh cho một đứa trẻ rằng tổng 3 góc trong tam giác bằng 2 góc vuông không? Còn tam giác trên mặt cầu hay mặt yên ngựa thì sao?

Câu đố 66 e

* *

Bạn có một cái ly có chiều cao lớn hơn chu vi lớn nhất của nó không?

* *

Một người làm vườn muốn trồng 9 cái cây sao cho chúng tạo thành 10 đường thẳng mà chỉ có 3 hàng cây. Ông ta đã làm như thế nào?

Câu đố 67 e

* *

Thần chết đi nhanh cỡ nào? Câu hỏi này là tựa đề một bài báo trên tạp chí the British Medial Journal năm 2011. Bạn có thể tưởng tượng ra cách nó được trả lời không?

Câu đố 68 d

* *

Việc đo thời gian cần các hiện tượng tuần hoàn. Các vòng trên cây là dấu vết của các mùa. Băng hà cũng có các dấu vết như vậy là các *hình cung nhọn*. Ta cũng thấy các dấu vết tương tự trên răng. Bạn có thể kể thêm các thí dụ khác không?

* *

Một người muốn biết anh ta phải leo lên bao nhiêu bậc thang nếu thang cuốn đang chạy lên, đứng yên. Anh đi lên và đếm được 60 bậc; đi xuống với cùng tốc độ và đếm được 90 bậc. Đáp số là bao nhiêu?

Câu đố 69 s

* *

Bạn có 2 đồng hồ cát: một 4 phút, một 3 phút. Bạn có thể sử dụng chúng để xác định thời gian 5 phút không?

Câu đố 70 e

* *

Bạn có 2 dây cháy chậm có chiều dài khác nhau mỗi sợi mất 1 phút để cháy hết. Bạn không được uốn cong hay dùng thước. Làm cách nào bạn có thể xác định được là 45 s đã trôi qua? Một bài khó hơn: Làm sao xác định được là 10 s đã trôi qua mà chỉ sử dụng 1 sợi?

Câu đố 71 e

* *

Bạn có 3 bình rượu: một bình đầy 8 l, một bình rỗng 5 l và một bình rỗng 3 l. Làm cách nào bạn chia 8 l rượu thành 2 phần bằng nhau bằng cách sử dụng 3 bình trên?

Câu đố 72 e

* *

Bạn có thể tạo ra một lỗ hổng trong tấm bưu thiếp cho phép bạn đi xuyên qua nó không?

Câu đố 73 s

* *

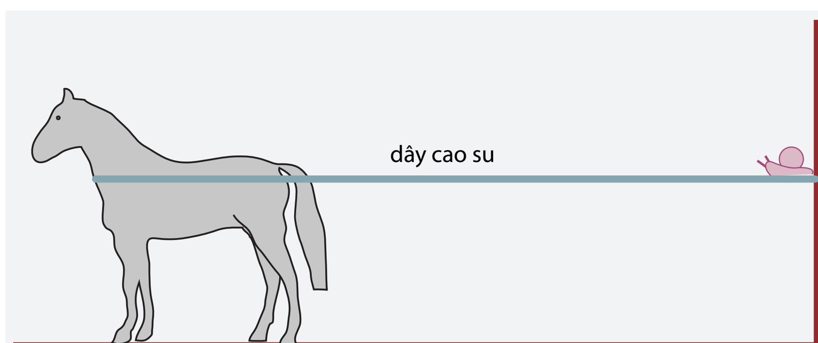
Tìm độ cao chất lỏng trong một ly hình nón như ta thấy trong Hình 30 (theo phần trăm) khi ly chứa được phân nửa?

Câu đố 74 s





HÌNH 30 Ly hình nón chứa được nửa ly khi chất lỏng ở độ cao nào?



HÌNH 31 Con ốc sên có thể đến chỗ con ngựa không nếu con ngựa bắt đầu phi nước đại?

* *

Câu đố 75 s Cần bao nhiêu viết chì để vẽ 1 đường dài bằng xích đạo của Trái đất?

* *

Bạn có thể đặt 5 đồng tiền bằng nhau sao cho mỗi đồng đều chạm vào 4 đồng kia hay không? Nếu chồng 2 lớp 3 đồng tiền, mỗi lớp tạo thành hình tam giác, thì đó có phải là lời giải của bài toán 6 đồng tiền hay không? Tại sao? Câu đố 76 e

Số đồng tiền nhỏ nhất mà ta có thể đặt nằm trên bàn sao cho mỗi đồng đều chạm vào 3 đồng khác là bao nhiêu? Câu đố 77 e

* *

Bạn có thể tìm 3 giao điểm trên một bàn cờ vua nằm trên 3 đỉnh một tam giác đều hay không? Câu đố 78 e

* *

Câu đố về gấu sau đây rất nổi tiếng: một người thợ săn rời nhà đi 10 km về phía Nam rồi đi 10 km về phía Tây, bắn một con gấu rồi đi 10 km về phía Bắc để trở về nhà. Con gấu màu gì? Bạn có thể biết ngay câu trả lời. Bây giờ là câu hỏi khó hơn, hữu dụng trong việc kiếm tiền khi cá cược. Nhà có thể ở nhiều điểm *khác* trên Trái đất; những điểm này ở đâu để người đó vẫn đi theo hành trình *đúng như vậy* để trở về nhà (hãy quên con gấu đi)? Câu đố 79 s



* *

Một dây cao su một đầu cột vào tường, một đầu cột vào một con ngựa như trong Hình 31. Trên dây gần tường, có một con ốc sên. Cả ốc sên và ngựa đều bắt đầu di chuyển – và
Câu đố 80 s dây có thể giãn dài vô hạn. Ốc sên có thể tới chỗ con ngựa không?

* *

Đối với một toán gia, 1 km bằng 1000 m. Đối với một vật lý gia, hai giá trị này khác nhau! Thật vậy, đối với vật lý gia, 1 km là số đo nằm giữa 0.5 km và 1.5 km, trong khi 1000 m là số đo nằm giữa 999.5 m và 1000.5 m. Vì vậy bạn hãy cẩn thận khi viết ra giá trị đo. Cách chuyên nghiệp là viết, thí dụ như, 1000(8) m có nghĩa là 1000 ± 8 m, tức là một giá trị
Trang 458 nằm giữa 992 và 1008 m với xác suất 68.3 %.

* *

Hãy tưởng tượng có một điểm đen trên một mặt màu trắng. Đường ranh giới giữa điểm
Câu đố 81 s với nền có màu gì? Câu hỏi này thường được gọi là câu đố của Peirce.

* *

Bánh mì cũng là một đường fractal gần đúng, mặc dù nó không đều. Số chiều fractal
Câu đố 82 s của bánh mì gần bằng 2.7. Bạn hãy thử đo nó xem!

* *

Làm cách nào để bạn có thể tìm ra tâm của tấm lót ly bia bằng cách dùng giấy và bút
Câu đố 83 e chì?

* *

Câu đố 84 s Trong 24 giờ hai kim giờ và kim phút của một đồng hồ trùng nhau bao nhiêu lần? Nếu đồng hồ có kim giây thì 3 kim trùng nhau bao nhiêu lần?

* *

Trong 24 giờ hai kim giờ và kim phút của một đồng hồ tạo thành góc vuông bao nhiêu
Câu đố 85 s lần?

* *

Trong 12 giờ hai kim của một đồng hồ có thể *đổi chỗ với nhau* bao nhiêu lần mà vị trí
Câu đố 86 s mới vẫn chỉ một giờ *hợp lệ*? Điều gì sẽ xảy ra đối với đồng hồ có 3 kim?

* *

Câu đố 87 s Trái đất quay một góc 1 phút mất bao lâu?

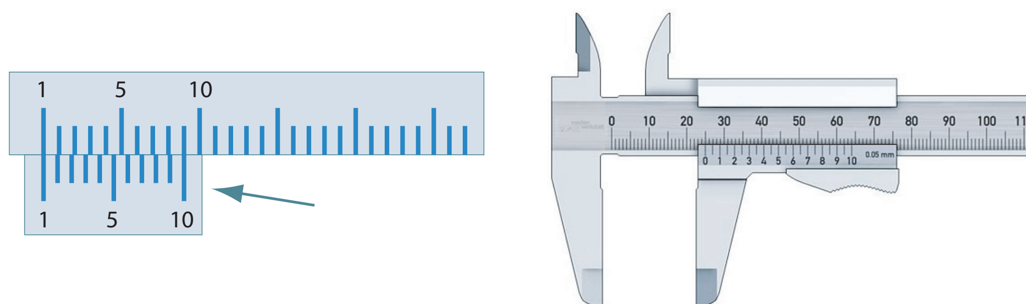
* *

Câu đố 88 s Tốc độ ném (có và không có vợt) lớn nhất? Đạn tử được sử dụng ở đây là gì?

* *

Một sợi dây bao chặt quanh Trái đất, tại xích đạo. Sợi dây này được kéo dài 1 m. Một con
Câu đố 89 s chuột có thể chui qua dưới sợi dây hay không? Sợi dây được kéo dài 1 mm. Một đứa trẻ có thể chui qua dưới sợi dây hay không?





HÌNH 32 Phiên bản du xích 9-10 và du xích 19-20 (đúng ra là 38-40) trong một thước kẹp (© www.medien-werkstatt.de).

* *

Jack chèo thuyền trên sông. Khi anh đi ngang qua dưới một cây cầu, thì anh thả một quả banh xuống sông. Jack tiếp tục chèo đi trong 10 phút sau khi thả banh. Sau đó anh quay lại. Khi gặp trái banh thì nó cách cây cầu 600 m. Tốc độ chảy của dòng sông là bao nhiêu?

Câu đố 90 s

* *

Adam và Bert là anh em. Adam 18 tuổi. Hiện nay Bert già đi gấp đôi so với thời điểm mà tuổi của Adam bằng tuổi của Bert bây giờ. Hiện nay Bert bao nhiêu tuổi?

Câu đố 91 e

* *

'Tôi ở đâu?' là một câu hỏi phổ biến; 'Tôi là khi nào?' là câu không ai hỏi trong mọi ngôn ngữ. Tại sao?

Câu đố 92 s

* *

Có khoảng thời gian nhỏ nhất trong thiên nhiên không? Khoảng cách nhỏ nhất?

Câu đố 93 s

* *

Giả sử bạn biết thẳng là gì, làm cách nào bạn mô tả hay xác định độ cong của một đường cong bằng các con số? Và độ cong của một mặt?

Câu đố 94 s

* *

Tốc độ của mí mắt là bao nhiêu?

Câu đố 95 s

* *

Diện tích bề mặt cơ thể người khoảng 400 m^2. Bạn có thể cho biết con số lớn này do đâu mà có không?

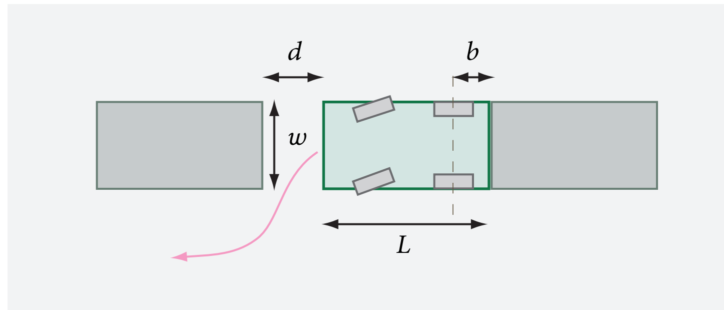
Câu đố 96 s

* *

Du xích hoạt động như thế nào? Nó còn được gọi là *thang chạy* trong các ngôn ngữ khác. Tên đầu tiên dẫn xuất từ tên của kỹ sư người Pháp * không phải là người phát minh ra

* Pierre Vernier (1580–1637), sĩ quan quân đội Pháp nghiên cứu về địa đồ học.





HÌNH 33 Rời khỏi chỗ đậu xe.

nó, tên thứ nhì là một lối chơi chữ trên tên Latin của một nhà phát minh Bồ Đào Nha chế tạo ra thiết bị * và số '9' bằng tiếng Latin. Đúng ra thiết bị như ta thấy ngày nay – như trong Hình 32 – được Christophonius Clavius thiết kế vào năm 1600,**. Ông cũng là người nghiên cứu về việc cải cách lịch Gregorian năm 1582. Bạn có thể thiết kế một du xích, thay vì tăng độ chính xác lên 10 lần, bằng một độ chính xác bất kỳ không? Độ chính xác này có giới hạn không? Câu đố 97 s

* *

Các đường Fractal 3 chiều đem tới nhiều điều ngạc nhiên. Ta hãy tổng quát hoá Hình 25 thành dạng 3 chiều. Lấy một tứ diện đều; dán lên mỗi mặt tam giác của nó một tứ diện đều nhỏ hơn, sao cho mặt của vật được tạo thành từ nhiều tam giác đều bằng nhau. Lặp lại quá trình, dán các tứ diện nhỏ hơn vào các mặt tam giác (đã nhiều hơn trước). Hình dạng sau cùng của mặt fractal sau số bước vô hạn sẽ như thế nào? Trang 57 Câu đố 98 s

* *

Xe cộ cũng đặt ra nhiều bài toán. Một bài toán quan trọng là bài toán *đậu xe song song* sau đây: khoảng hở cần thiết ngắn nhất d so với xe đậu phía trước để xe có thể rời nơi đậu mà không cần cài số lùi? (Giả sử bạn biết rõ tính chất hình học của xe như trong Hình 33 và bán kính chuyển hướng ngoài nhỏ nhất R.) Câu kế tiếp: khoảng hở cần thiết nhỏ nhất khi bạn được phép tiến lùi theo ý muốn? Bây giờ là một bài toán không có lời giải có trong tài liệu: Khoảng hở phụ thuộc vào số lần cài số lùi n như thế nào? (Tác giả đã tặng 50 euro cho lời giải đầu tiên giải thích rõ ràng nhất; lời giải của người thắng cuộc Daniel Hawkins có trong phụ lục.) Câu đố 99 s Câu đố 100 s Câu đố 101 s

* *

Các khoa học gia đã sử dụng một cách đặc biệt để viết các số lớn và số nhỏ như được giải thích trong Bảng 12.

* *

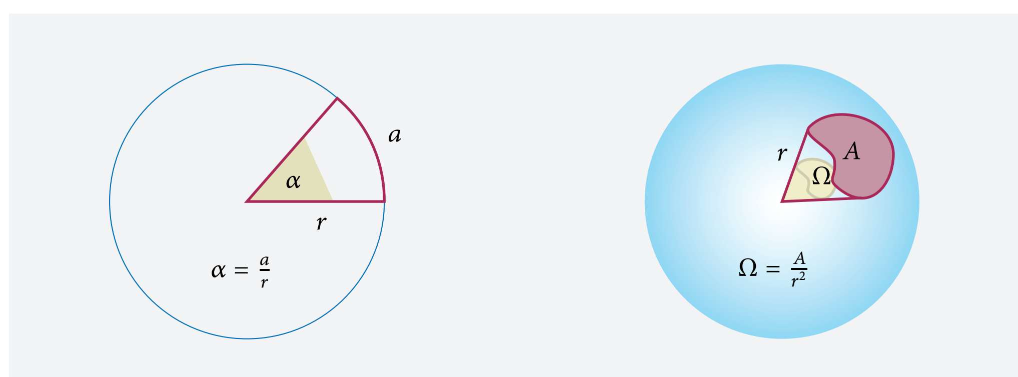
Năm 1996 khoảng cách nhỏ nhất có thể phát hiện qua thực nghiệm là 10^{-19} m, là khoảng cách giữa các quark ở Fermilab. (để 'thưởng thức' giá trị này, hãy viết ra giấy mà không sử dụng số mũ.) Số đo này có ý nghĩa gì đối với tính liên tục của không gian không? Xem 48 Câu đố 102 s

* Pedro Nuñes hay Peter Nonnius (1502–1578), toán gia và người vẽ bản đồ Bồ Đào Nha.
** Christophonius Clavius hay Schlüssel (1537–1612), thiên văn gia Bavaria nổi tiếng vào thời đó.



BẢNG 12 Ký hiệu bằng số mũ: cách viết các số nhỏ và số lớn.

Số	Ký hiệu số mũ	Số	Ký hiệu số mũ
1	10^0		
0.1	10^{-1}	10	10^1
0.2	$2 \cdot 10^{-1}$	20	$2 \cdot 10^1$
0.0324	$3.24 \cdot 10^{-2}$	32.4	$3.24 \cdot 10^1$
0.01	10^{-2}	100	10^2
0.001	10^{-3}	1000	10^3
0.000 1	10^{-4}	10 000	10^4
0.000 056	$5.6 \cdot 10^{-5}$	56 000	$5.6 \cdot 10^4$
0.000 01	10^{-5} v.v...	100 000	10^5 .v.v...



HÌNH 34 Định nghĩa góc phẳng và góc khối.

* *

Zeno, triết gia Hy Lạp, đã bàn chi tiết về những điều xảy ra cho một vật chuyển động tại 1 thời điểm đã cho. Để tranh luận với ông, bạn quyết định chế tạo một cửa trập cực nhanh cho một máy ảnh mà bạn có thể tưởng tượng ra. Bạn có đủ tiền để làm việc này. Thời gian trập ngắn nhất mà bạn có thể đạt tới là bao nhiêu? Câu đố 103 s

* *

Bạn có thể chứng minh định lý Pythagoras bằng các công cụ hình học mà không sử dụng toạ độ hay không? (Có hơn 30 cách chứng minh.) Câu đố 104 s

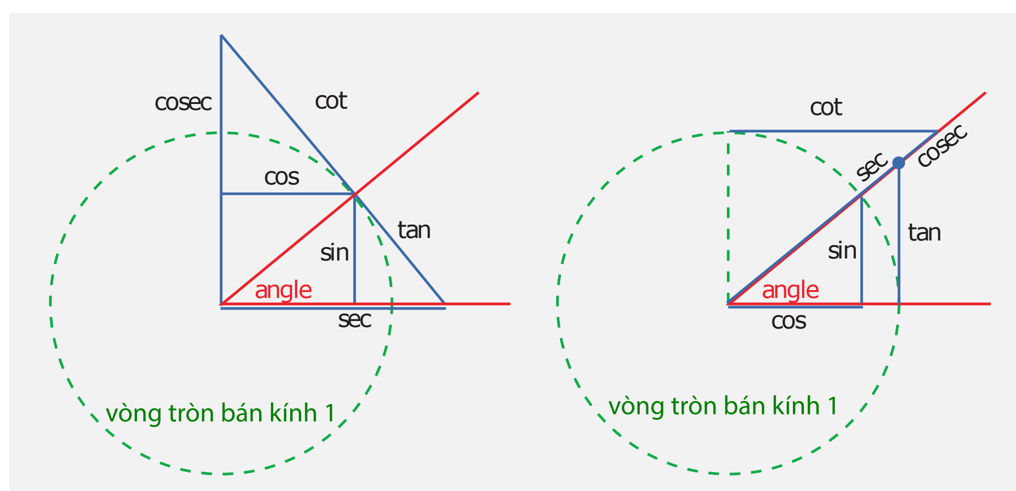
* *

Trang 61
Tại sao phần lớn các hành tinh và vệ tinh, kể cả Trái đất và Mặt trăng, (gần như) có hình cầu (hãy xem Hình 28)? Câu đố 105 s

* *

Câu đố 106 s Một dây cao su nối 2 đầu kim đồng hồ. Quỹ đạo của trung điểm sợi dây là gì?





HÌNH 35 Hai định nghĩa tương đương của sine, cosine, tangent, cotangent, secant và cosecant của 1 góc.

* *

Có 2 đại lượng quan trọng liên quan tới góc. Như ta thấy trong Hình 34, một *góc (phẳng)* được định nghĩa là tỷ số chiều dài cung / bán kính. Góc vuông bằng π/2 *radian* (hay π/2 rad) hay 90°.

Một *góc khối* là tỷ số diện tích / bình phương bán kính. 1/8 của hình cầu là π/2 *steradian* hay π/2 sr. (Dĩ nhiên các toán gia sẽ bỏ quên đơn vị steradian.) Kết quả là một góc khối nhỏ có hình dạng giống hình nón và góc đỉnh hình nón thì *khác nhau*. Bạn có thể tìm ra mối liên hệ này không? Câu đố 107 s

* *

Định nghĩa của góc giúp ta xác định kích thước của pháo hoa. Đo thời gian T, theo giây, giữa lúc mà bạn thấy pháo nổ trên bầu trời và lúc mà bạn nghe tiếng nổ, đo góc (phẳng) α của quả cầu do pháo hoa tạo ra bằng bàn tay. Đường kính D sẽ là

$$D \approx \frac{6\,\mathrm{m}}{s\,{}^{\circ}} T\,\alpha\,. \qquad (3)$$

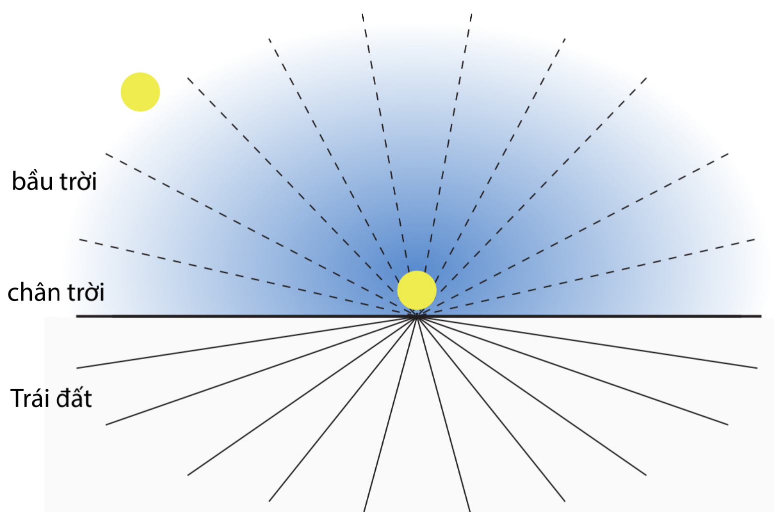
Câu đố 108 e Tại sao? Để biết thêm về pháo hoa hãy xem trang cc.oulu.fi/~kempmp. Ngoài ra, khoảng cách góc giữa các khớp của ngón tay duỗi thẳng khoảng 3°, 2° và 3°, kích thước của bàn tay mở rộng là 20°. Bạn có thể xác định các góc khác liên quan tới bàn tay không? Câu đố 109 s

* *

Góc, *sine*, *cosine*, *tangent*, *cotangent*, *secant* và *cosecant* có thể được định nghĩa như trong Hình 35. Bạn nên nhớ kiến thức đã học ở trường phổ thông này. Bạn có thể chứng minh

Câu đố 110 e $\sin 15^\circ = (\sqrt{6} - \sqrt{2})/4$, $\sin 18^\circ = (-1 + \sqrt{5})/4$, $\sin 36^\circ = \sqrt{10 - 2\sqrt{5}}/4$, $\sin 54^\circ =$





HÌNH 36 Sự thay đổi của kích thước biểu kiến của Mặt trăng và Mặt trời trong 1 ngày.

$(1+\sqrt{5})/4$ và $\sin 72° = \sqrt{10+2\sqrt{5}}/4$ không? Bạn có thể chứng minh hệ thức

$$\frac{\sin x}{x} = \cos\frac{x}{2}\cos\frac{x}{4}\cos\frac{x}{8}... \tag{4}$$

Câu đố 111 e không?

* *

Đo kích thước góc bằng mắt khá phức tạp. Thí dụ như bạn có thể nói Mặt trăng lớn hơn hay nhỏ hơn móng tay ngón cái ở cuối cánh tay của bạn khi duỗi thẳng không? Kích thước góc không phải là một đại lượng thuộc về trực giác; nó cần có dụng cụ để đo. (Câu đố 112 e)

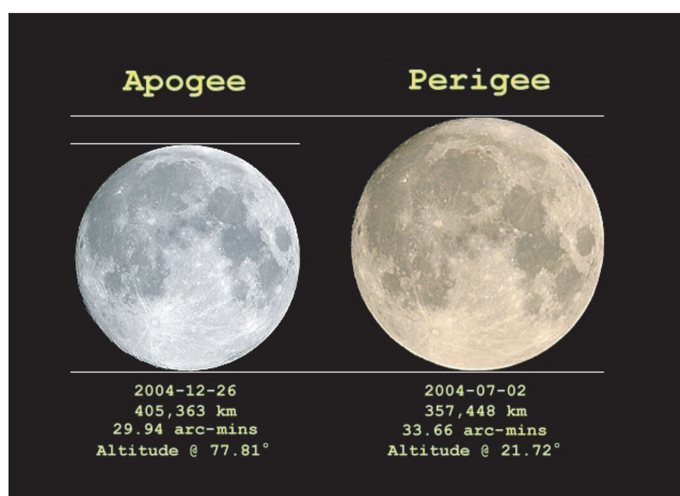
Một thí dụ nổi tiếng như trong Hình 36, minh hoạ cho sự khó khăn của ta khi ước lượng các góc. Cả Mặt trời lẫn Mặt trăng có vẻ lớn hơn khi chúng ở gần chân trời. Trong thời cổ, Ptolemy giải thích *ảo thị Mặt trăng* bắt nguồn từ sự thay đổi khoảng cách biểu kiến, không chủ ý, do não người gây ra. Thật vậy, ảo thị này sẽ biến mất khi bạn quan sát Mặt trăng qua hai chân của mình. Đúng ra Mặt trăng *ở xa* quan sát viên hơn khi nó ở chân trời và như vậy hình ảnh của nó sẽ *nhỏ hơn* so với vài giờ trước đó, khi nó còn ở trên trời cao. Bạn có thể chứng minh điều này không? (Xem 49; Câu đố 113 s)

Kích thước góc của Mặt trăng thay đổi bắt nguồn từ một hiệu ứng khác: quỹ đạo của Mặt trăng quanh Trái đất có hình ellipse. Thí dụ về hệ quả này được trình bày trong Hình 37.

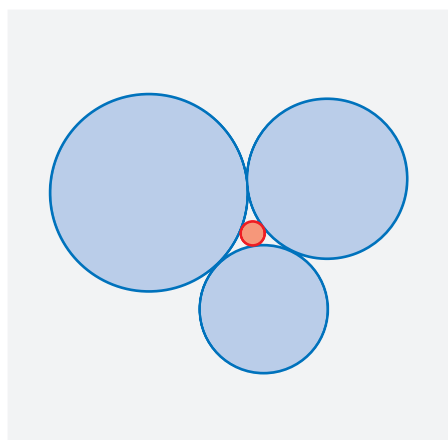
* *

Galilei cũng phạm sai lầm. Trong quyển sách nổi tiếng của ông, the *Dialogues*, ông nói rằng đường cong do một dây xích mảnh treo giữa 2 cây đinh có hình parabol, tức là đường cong có phương trình $y = x^2$. Điều này không đúng. Đường cong đúng là gì? Bạn có thể quan sát hình dạng (gần đúng) của các cầu treo. (Câu đố 114 d)

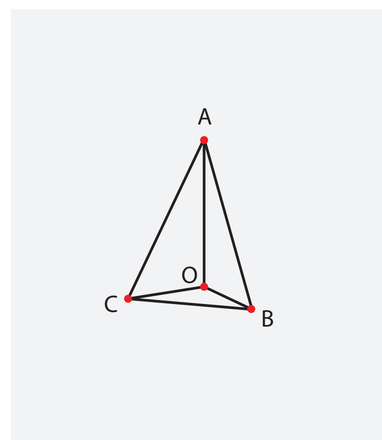




HÌNH 37 Kích thước Mặt trăng thực sự thay đổi trong khi nó chuyển động trên quỹ đạo (© Anthony Ayiomamitis).



HÌNH 38 Một bài toán nổi tiếng: 4 bán kính liên hệ với nhau như thế nào?



HÌNH 39 Diện tích tam giác ABC là bao nhiêu, biết diện tích 3 tam giác kia và 3 góc vuông ở O?

* *

Vẽ 3 vòng tròn có kích thước khác nhau và tiếp xúc với nhau như Hình 38. Bây giờ vẽ một vòng tròn thứ 4 bên trong tiếp xúc với cả 3 vòng trên. Hệ thức đơn giản giữa 4 bán kính vòng tròn là gì?

Câu đố 115 s

* *

Cho một tứ diện OABC có 3 tam giác OAB, OBC và OAC vuông góc ở O, như trong Hình 39. Nói cách khác, các cạnh OA, OB và OC vuông góc với nhau. Trong tứ diện, diện tích OAB, OBC và OAC tương ứng là 8, 4 và 1. Tính diện tích tam giác ABC

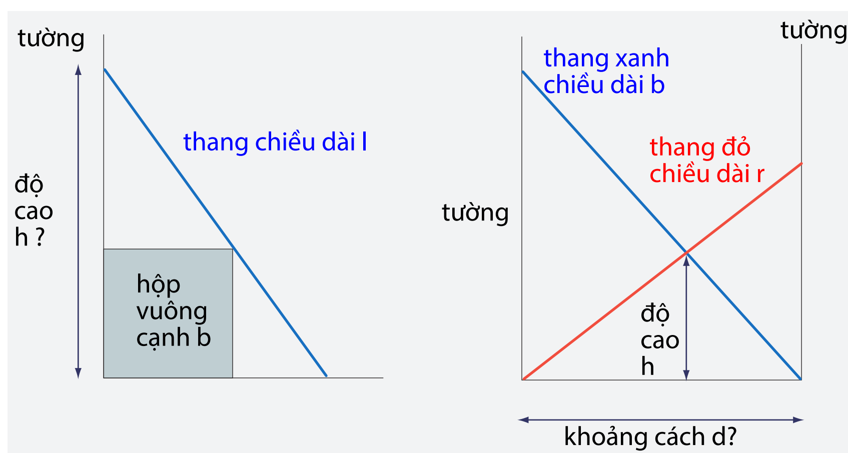
Câu đố 116 s

* *

Xem 50

Có nhiều bài toán về cầu thang. Hai bài được minh hoạ trong Hình 40. Nếu một cái





HÌNH 40 Bài toán 2 cái thang: một hơi khó (hình bên trái) và một khó (hình bên phải).



HÌNH 41 Các tia phản hoàng hôn - Mặt trời ở đâu trong cảnh này? (© Peggy Peterson)

thang 5 m được đặt tựa vào tường sao cho nó chạm vào một cái hộp cao và rộng 1 m thì Câu đố 117 s độ cao của thang là bao nhiêu? Nếu 2 cái thang tựa vào 2 bức tường đối diện và chiều dài thang cùng với độ cao của giao điểm được biết thì khoảng cách của 2 bức tường là Câu đố 118 d bao nhiêu?

* *

Với 2 cái thước, bạn có thể cộng và trừ số bằng cách đặt 2 cạnh của chúng kề bên nhau. Bạn có thể thiết kế các cây thước cho ta làm được phép nhân và chia theo kiểu như vậy Câu đố 119 s không?

* *

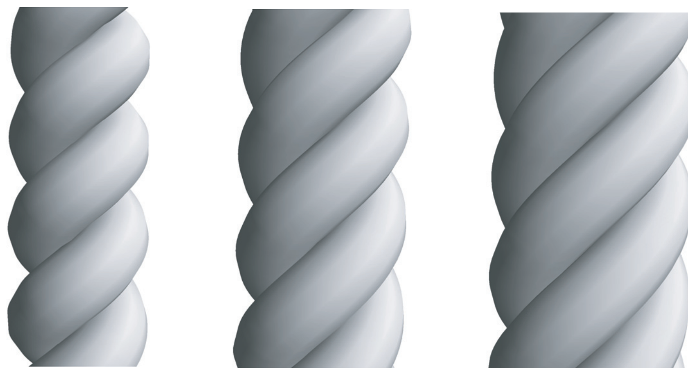
Câu đố 120 s Một năm có bao nhiêu ngày nếu Trái đất quay theo cách khác với cùng tần số quay?

* *

Câu đố 121 s Mặt trời ẩn sau khung cảnh ngoạn mục trong Hình 41 Nó ở đâu?

* *





HÌNH 42 Cấu hình lý tưởng của dây thừng làm từ 2, 3 và 4 tao. Trong cấu hình này, góc bước riêng tương ứng đối với mặt phẳng xích đạo – 39.4°, 42.8° và 43.8° – tạo ra kết cấu không xoắn. Trong 3 cấu hình lý tưởng này, dây thừng sẽ không quay dưới sự biến dạng thẳng đứng (© Jakob Bohr).

Một cảnh hơi khác nhưng cũng ngoạn mục không kém – và hữu dụng trong phép vẽ phối cảnh – xuất hiện khi có một hải đăng sau lưng bạn. Bạn có thể vẽ các tia sáng mà
Câu đố 122 e bạn thấy trên bầu trời đi tới đường chân trời hay không?

* *

Hai hình trụ bán kính như nhau giao nhau dưới 1 góc vuông. Thể tích phần giao nhau
Câu đố 123 s là bao nhiêu? (Trước tiên hãy vẽ hình.)

* *

Hai mặt của một hình lập phương có cạnh dài 1 dm được lấy đi tạo thành một đường hầm cửa vuông. Có phải là một hình lập phương có cạnh dài 1.06 dm có thể đi qua đường
Câu đố 124 s hầm này hay không?

* *

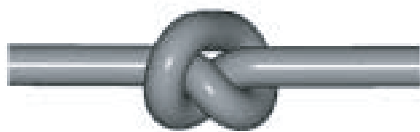
Xem 51 Có một vũ trụ 2 chiều không? Alexander Dewdney đã tưởng tượng ra một vũ trụ như vậy một cách chi tiết và viết một quyển sách nổi tiếng về nó. Ông mô tả nhà cửa, hệ thống giao thông, sự tiêu hoá, sự sinh sản ... Bạn có thể giải thích tại sao không thể có
Câu đố 125 d một vũ trụ 2 chiều?

* *

Dây thừng là các kết cấu kỳ diệu. Chúng mềm dẻo, được đan theo lối xoắn ốc nhưng không thể tháo ra hay xoắn lại, gần như không thể kéo dài và tính chất hình học ít phụ
Xem 52 thuộc vào vật liệu tạo ra chúng. Nguồn gốc của tất cả các tính chất này là gì?

Bện dây thừng là một nghề thủ công cổ xưa; nó chỉ dựa trên một kết quả hình học thuần tuý: giữa các đường xoắn ốc khả hữu có n tao với chiều dài đã cho, bện quanh một kết cấu trung tâm có bán kính không đổi, chỉ có 1 đường xoắn ốc mà số vòng *lớn nhất*. Vì lý do hình học này, dây thừng với số vòng đặc biệt và bán kính trong tương ứng sẽ





HÌNH 43 Một bài toán mở: chiều dài của một sợi dây có 1 gút thắt chặt? (© Piotr Pieranski, from Xem 54)

có các tính chất đã đề cập ở trên khiến cho dây thừng rất hữu dụng. Dạng hình học của các dây thừng lý tưởng có 2, 3 và 4 tao được vẽ trong Hình 42.

* *

Câu đố 126 s Một số nhà nghiên cứu đang xem xét vấn để thời gian có 2 chiều. Có thể có điều này hay không?

* *

Một số nhà nghiên cứu khác đang xem xét vấn để không gian có thể có nhiều hơn 3 chiều. Có thể có điều này hay không? Câu đố 127 s

* *

Có một cách so sánh tốc độ động vật và máy móc là đo theo 'chiều dài cơ thể/s'. Con bổ củi đạt được giá trị khoảng 2000 trong một lần nhảy, tế bào Archaea (giống như vi khuẩn) là 500 và chim ruồi là 380. Các con vật này hiện đang giữ kỷ lục. Xe hơi, phi cơ, báo cheetah, chim ưng, cua và các hệ có động cơ khác có tốc độ nhỏ hơn rất nhiều. Xem 53

* *

Câu đố 128 e Tại sao ống có thiết diện ngang là hình tròn?

* *

Tìm kích thước của một bồn nước hình hộp hở chứa 1 m^3 nước và sử dụng ít vật liệu nhất để tạo ra lớp vỏ của nó. Câu đố 129 e

* *

Vẽ một hình vuông gồm 4 cạnh nối với nhau bằng các khớp ở đỉnh. Một hình như vậy có thể biến dạng tự do thành một hình thoi nếu có lực tác động. Cần bao nhiêu liên kết phụ có cùng chiều dài thêm vào để làm cho hình vuông không thể biến dạng tự do nữa? Liên kết phụ phải ở trong cùng mặt phẳng với hình vuông và mỗi liên kết chỉ có thể nối với các liên kết khác ở các đầu cuối. Câu đố 130 s

* *

Việc đo diện tích có thể là việc khó khăn. Năm 2014 người ta đã biết diện tích của vùng thuộc dạ dày-ruột của một người trưởng thành khoẻ mạnh là từ 30 đến 40 m^2. Trong nhiều năm, vùng này đã bị tính sai là từ 180 đến 300 m^2.

* *



Nếu bạn chưa bao giờ tìm hiểu hình học phẳng trong đời thì hãy tìm hiểu nó ngay. Một quyển sách nhập môn tuyệt vời là Claudi Alsina & Roger B. Nelsen, *Icons of Mathematics: An Exploration of Twenty Key Images*, MAA Press, 2011. Đây là một quyển sách kỳ diệu với nhiều kiến thức đơn giản và lạ kỳ về hình học mà bạn chưa hề gặp trong trường trung học hay đại học. Hãy thưởng thức nó.

* *

Có nhiều điều đáng kinh ngạc về tam giác. Leonhard Euler, Charles Julien Brianchon và Jean Victor Poncelet đã cùng khám phá ra rằng trong 1 tam giác bất kỳ, có 9 điểm cùng nằm trên một đường tròn: trung điểm các cạnh, chân đường cao và trung điểm đoạn đường cao nối đỉnh và trực tâm. Euler cũng khám phá ra rằng trong mỗi tam giác, trực tâm, trọng tâm, tâm vòng ngoại tiếp và tâm vòng 9 điểm cùng nằm trên 1 đường thẳng (đường thẳng Euler).

Về các kết quả nghiên cứu về tam giác phẳng gần đây nhất, hãy xem quyển sách hấp dẫn *Encyclopedia of Triangle Centers*, có tại faculty.evansville.edu/ck6/encyclopedia/ETC.html.

* *

Đây là một câu đố đơn giản về chiều dài mà chưa ai giải được. Lấy một mảnh dây thừng lý tưởng: bán kính không đổi, mềm dẻo và hoàn toàn trơn nhẵn. Thắt một gút chặt, như trong Hình 43. Hai đầu dây có thể tiến đến gần nhau một khoảng bao nhiêu?

Câu đố 131 r

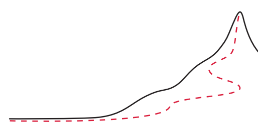
Tóm tắt về không gian và thời gian thông thường

Chuyển động xác định tốc độ, thời gian và chiều dài. Sự quan sát đời sống hằng ngày và các thí nghiệm, được mô tả một cách tiện lợi và chính xác, bằng cách xem vận tốc là một vector, không gian là tập hợp 3 chiều của các điểm và thời gian là đường thẳng thực 1 chiều được tạo thành từ các điểm. Ba định nghĩa này tạo thành mô tả *Galilei* hay mô tả thông thường của môi trường quanh ta.

Việc mô hình vận tốc, thời gian và không gian thành các đại lượng *liên tục* thì chính xác và tiện lợi. Mô hình này vận hành tốt trong trong phần lớn các cuộc thám hiểm tiếp theo. Tuy vậy, mô hình không gian và thời gian thông thường này *không thể* chứng minh được bằng thực nghiệm. Thí dụ như không thể có thí nghiệm nào kiểm tra được các khoảng cách lớn hơn 10^{25} m hay nhỏ hơn 10^{-25} m. Mô hình liên tục có thể không đúng ở những thang đo nhỏ hơn. Ta sẽ khám phá ra ở phần cuối của cuộc thám hiểm là điều này thực sự đúng như vậy.







Chương 3
Cách mô tả chuyển động – Động học

> La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo) ... Egli è scritto in lingua matematica.**
>
> Galileo Galilei, *Il saggiatore* VI.

Thực nghiệm chứng tỏ rằng các tính chất của chuyển động, thời gian và không gian được trẻ em lẫn động vật rút ra từ môi trường xung quanh. Điều này đã được chứng minh đối với mèo, chó, chuột, kiến và cá. Tất cả các kết quả đều giống nhau.

Trước tiên, *chuyển động là sự thay đổi vị trí theo thời gian*. Sự mô tả này được minh hoạ bằng cách lật nhanh các hình ở góc dưới bên trái của quyển sách này, bắt đầu từ Trang 242. Mỗi trang mô phỏng một thời điểm và sự thay đổi duy nhất xảy ra trong chuyển động là ở vị trí của vật, tức là một hòn đá, được biểu diễn bằng một điểm đen. Các biến đổi khác từ hình này qua hình kia, bắt nguồn từ sự không hoàn hảo trong kỹ thuật in ấn, có thể lấy để mô phỏng các sai số không mong đợi của phép đo.

Câu phát biểu 'chuyển động là sự thay đổi vị trí theo thời gian' *không phải là* một lời giải thích và *cũng không phải là* một định nghĩa vì cả hai khái niệm thời gian và vị trí đều được suy ra từ chuyển động. Nó chỉ là một *sự mô tả* chuyển động. Phát biểu này vẫn còn hữu dụng vì nó có độ chính xác cao như ta sẽ thấy khi tìm hiểu về lực hấp dẫn và Điện động lực học. Xét cho cùng, sự chính xác là nguyên lý hướng dẫn chúng ta trong cuộc dạo chơi này. Do đó sự mô tả chi tiết về sự thay đổi vị trí có một cái tên đặc biệt: *Động học*.

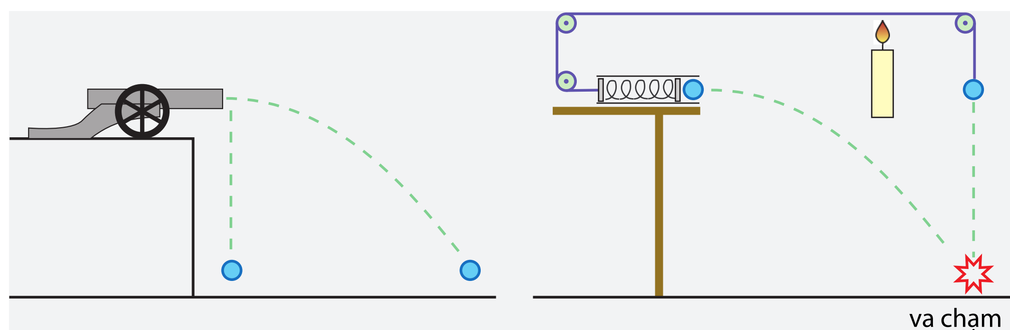
Ý tưởng thay đổi vị trí hàm ý rằng ta có thể *theo dõi vật* khi nó chuyển động. Điều này không phải là hiển nhiên; trong phần Thuyết lượng tử ta sẽ thấy điều này không thể thực hiện được. Nhưng trong đời sống thông thường ta có thể theo dấu các vật. Tập hợp các vị trí của vật theo thời gian tạo thành *đường đi* hay *quỹ đạo* của nó. Nguồn gốc của Xem 55 khái niệm này sẽ trở nên rõ ràng khi ta ngắm pháo hoa hay xem đoạn film lật ở góc dưới bên trái trang sách bắt đầu từ Trang 242.

Trong đời sống thông thường, động vật và con người đều đồng ý về các tính chất Euclide của vận tốc, không gian và thời gian. Đặc biệt, điều này khiến cho ta có thể mô tả quỹ đạo bằng cách xác định 3 con số, 3 *toạ độ* (x, y, z) – một toạ độ cho 1 chiều – là các hàm liên tục theo thời gian t (hàm sẽ được định nghĩa sau). Hàm này thường được

Quyển III, trang 288

** Khoa học được viết trong một quyển sách khổng lồ luôn mở ra trước mắt chúng ta (Tôi muốn nói đến vũ trụ) ... Nó được viết bằng ngôn ngữ toán học.





HÌNH 44 Hai cách để kiểm chứng rằng thời gian rơi tự do không phụ thuộc vào vận tốc của chuyển động ngang.

viết

$$\boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}(t) = (x(t), y(t), z(t)) . \qquad (5)$$

Galilei đã tìm được, bằng cách sử dụng đồng hồ và thước, độ cao z của một viên đá được ném hay rơi là

$$z(t) = z_0 + v_{z0}\,(t - t_0) - \tfrac{1}{2} g\,(t - t_0)^2 \qquad (6)$$

trong đó t_0 là thời điểm bắt đầu rơi, z_0 là độ cao ban đầu, v_{z0} là vận tốc ban đầu theo phương thẳng đứng và $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$ là hằng số với sai số 1/300, đối với mọi vật tại mọi Xem 56 điểm trên Trái đất. Nguồn gốc của giá trị $9.8\,\mathrm{m/s^2}$ và sự biến thiên ít của nó là gì? Ta sẽ cho một câu trả lời sơ lược nhưng minh giải điều đó sẽ chiếm khá nhiều thời gian trong cuộc hành trình này.

Trường hợp đặc biệt không có vận tốc đầu được quan tâm nhiều. Giống như tiền nhân, Galilei chứng minh rằng g không đổi đối với mọi vật, nếu ta bỏ qua sức cản không Trang 202 khí. Ông đã bàn luận nhiều về kết luận này; bạn có tìm được điều gì không? Và dĩ nhiên các thí nghiệm nổi tiếng của ông ở tháp nghiêng Pisa đã khẳng định phát biểu trên. (Có một huyền thoại đô thị *sai lầm* là Galilei không bao giờ làm thí nghiệm. Thật ra ông có Xem 57 làm thí nghiệm.)

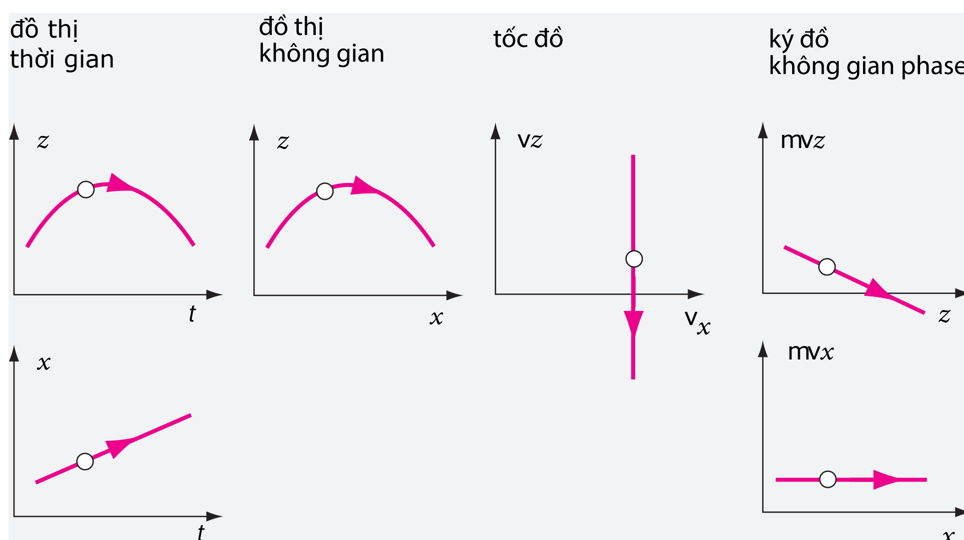
Phương trình (6) cho phép ta xác định chiều sâu của một cái giếng nếu biết thời gian Câu đố 132 s hòn đá chạm đáy. Phương trình này cũng cho tốc độ khi vật chạm đáy v

$$v = \sqrt{2gh} . \qquad (7)$$

Độ cao 3 m sẽ tạo ra vận tốc 27 km/h. Vận tốc này chỉ tỷ lệ với căn bậc 2 của độ cao. Có phải điều này giải thích cho lý do người ta sợ hậu quả của việc rơi do đánh giá quá cao Câu đố 133 s tác dụng thực sự của nó hay không?

Galilei là người đầu tiên phát biểu một kết quả quan trọng của sự rơi tự do: các chuyển động theo phương ngang và phương thẳng đứng *độc lập với nhau*. Ông đã chứng tỏ rằng thời gian để một viên đạn đại bác được bắn theo phương ngang rơi xuống *độc lập* với sức mạnh của thuốc súng, như ta thấy trong Hình 44. Nhiều tư tưởng gia vĩ đại không đồng ý với phát biểu này ngay cả sau khi Galilei qua đời: năm 1658 Academia del Cimento đã Xem 58 tổ chức một buổi thí nghiệm để kiểm chứng điều này bằng cách so sánh một viên đạn





HÌNH 45 Các loại ký đồ khác nhau mô tả cùng một con đường của một hòn đá được ném đi.

đại bác được bắn và một viên đạn để rơi thẳng đứng. Bạn có thể hình dung được cách họ kiểm tra tính đồng thời không? Hình 44 cho thấy bạn có thể tự kiểm tra điều này tại nhà. Trong thí nghiệm này, bất kể lò xo của súng, hai vật luôn chạm nhau trong không khí (nếu bàn đủ cao) chứng minh khẳng định này.

Câu đố 134 s

Nói cách khác, một viên đạn bay không được gia tốc theo phương ngang. Chuyển động của nó theo phương ngang không đổi – miễn là sức cản không khí không đáng kể. Bằng cách mở rộng phương trình (6) bằng 2 biểu thức của toạ độ ngang x và y, cụ thể là

$$x(t) = x_0 + v_{x0}(t - t_0)$$
$$y(t) = y_0 + v_{y0}(t - t_0) , \qquad (8)$$

ta tìm được sự mô tả *đầy đủ* về quỹ đạo của hòn đá được ném đi. Con đường này có dạng *parabol*; nó được vẽ trong các hình 18, 44 và 45. (Mặt parabol cũng được người ta sử dụng trong các mặt phản xạ ánh sáng trong đèn pin hay đèn xe. Bạn có thể giải thích lý do không?)

Trang 41
Câu đố 135 s
Xem 59

Các nhà vật lý thích tổng quát hoá ý tưởng đường đi. Như Hình 45 cho thấy, đường đi là một dấu vết để lại trong một đồ thị của vật chuyển động. Tuỳ theo loại đồ thị được dùng, những con đường này có tên khác nhau. Đồ thị thời gian giúp ta tiếp cận được với Thuyết tương đối. *Đồ thị không gian* bao gồm toạ độ của mọi hạt trong một hệ. Đối với hệ nhiều hạt, nó có nhiều chiều và có vai trò quan trọng trong sự tự tổ chức. Sự khác nhau giữa hỗn độn và trật tự có thể được mô tả là sự khác nhau giữa tính chất của các đường đi trong đồ thị không gian. *Tốc đồ*, đường đi trong 'không gian vận tốc', được sử dụng trong dự báo thời tiết. Đồ thị không gian phase còn được gọi là *đồ thị không gian trạng thái*. Nó đóng vai trò cốt yếu trong Nhiệt động lực học.

Trang 414

Ném, nhảy và bắn

Việc mô tả chuyển động về mặt động học sẽ hữu dụng trong việc trả lời cho hàng loạt câu hỏi.

* *

Giới hạn trên cho cuộc thi nhảy xa là bao nhiêu? Kỷ lục thế giới về chạy nước rút năm 2008 là trên 12.5 m/s ≈ 45 km/h của Usain Bolt, và kỷ lục của nữ năm 1997 là 11 m/s ≈ 40 km/h. Tuy vậy, vận động viên nhảy xa nam không bao giờ chạy nhanh hơn 9.5 m/s. Nếu chạy với tốc độ tối đa thì họ sẽ nhảy xa thêm được bao nhiêu? Làm cách nào để họ đạt được điều đó? Ngoài ra, người nhảy xa bật nhảy dưới 1 góc khoảng 20°, vì họ không thể đạt được một góc lớn hơn khi đang chạy với tốc độ đó. Họ sẽ nhảy xa thêm được bao nhiêu nếu đạt được góc 45°? 45° có phải là góc tối ưu không?

Xem 60
Xem 61
Xem 62
Câu đố 136 s

* *

Usain Bolt và Michael Johnson, hai người giữ kỷ lục thế giới 200 m sau cùng, vào thời điểm này, có những điểm chung nào? Họ đều cao, vạm vỡ và có nhiều sợi cơ co nhanh trong bắp thịt. Những đặc điểm này đã làm cho họ trở thành những vận động viên chạy nước rút. Một sự khác nhau sau cùng khiến họ trở thành vận động viên tầm cỡ thế giới: họ có cột sống thẳng gần như không có hình chữ S. Đặc điểm bất thường này giúp họ bớt được chút ít thời gian trong mỗi bước chạy vì xương sống của họ không mềm dẻo như người thường. Điều này giúp họ vượt trội trong các cuộc thi chạy cự ly ngắn.

* *

Vận động viên liên tục cải thiện kỷ lục về tốc độ. Ngựa đua thì không. Tại sao? đối với ngựa đua nhịp thở có liên hệ với bước chạy; Đối với người thì không. Kết quả là ngựa đua không thể thay đổi hay cải thiện kỹ thuật và tốc độ của ngựa đua chủ yếu không thay đổi.

* *

Độ cao lớn nhất của một vật do con người ném ra là bao nhiêu? Con người ném một vật ra xa nhất là bao nhiêu mét? Bạn có thể chứng minh điều này như thế nào? So sánh kết quả này với kỷ lục của một cái nỏ, 1871.84 m, do Harry Drake lập được năm 1988; kỷ lục của nỏ giữ bằng chân, 1854.4 m, cũng do Harry Drake lập được năm 1971 và cung là 1222.0 m, do Don Brown lập được năm 1987.

Câu đố 137 s

* *

Làm cách nào đo được tốc độ của giọt mưa rơi bằng một cái dù? Câu trả lời này rất quan trọng: ta có thể sử dụng phương pháp tương tự để đo tốc độ ánh sáng như ta sẽ thấy sau này. (Bạn có thể đoán được không?)

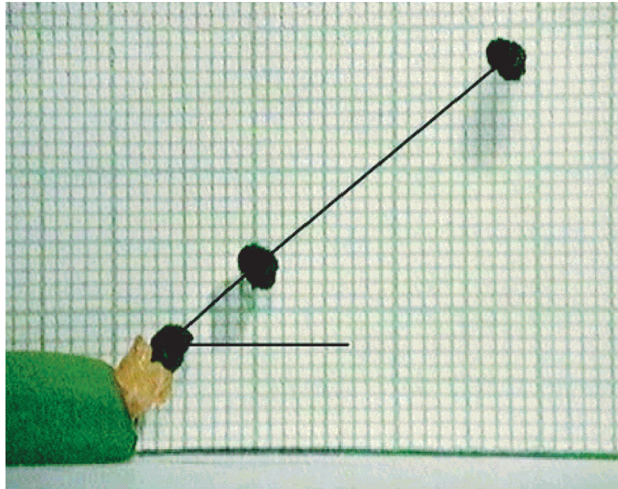
Câu đố 138 s
Quyển II, trang 19

* *

Khi một vũ công nhảy lên trong không khí, anh/chị đó đã quay bao nhiêu vòng quanh trục của thân người trước khi trở lại mặt đất?

Câu đố 139 s

* *



HÌNH 46 Hình ảnh 3 viên phân do một con sâu bướm bên trong một cái lá cuộn tròn bắn ra (© Stanley Caveney).

Xem 63
Nhiều loài sâu ngài hay bướm thường phóng uế – nói thô lỗ một chút là phân – để mùi của phân làm cho thú ăn thịt không tìm ra chúng. Stanley Caveney và cộng sự đã chụp được ảnh của quá trình này. Hình 46 cho ta thấy một con sâu (vàng) của loài bướm *Calpodes ethlius* bên trong một lá xanh cuộn tròn đang hành động. Giả sử khoảng cách kỷ lục quan sát được là 1.5 m (mặc dù do các loài khác, *Epargyreus clarus*), thì tốc độ bắn ra là bao nhiêu? Làm cách nào để sâu bướm đạt được điều đó?
Câu đố 140 s

* *

Khoảng cách theo phương nằm ngang mà người ta có thể đạt được bằng cách ném một hòn đá, giả sử tốc độ và góc ném đã biết?
Câu đố 141 s

* *

Câu đố 142 s
Số banh lớn nhất mà người ta có thể tung hứng đồng thời?

* *

Có đúng là giọt mưa rơi có khả năng sát thương nếu không có sức cản không khí hay không? Còn mưa đá thì sao?
Câu đố 143 s

* *

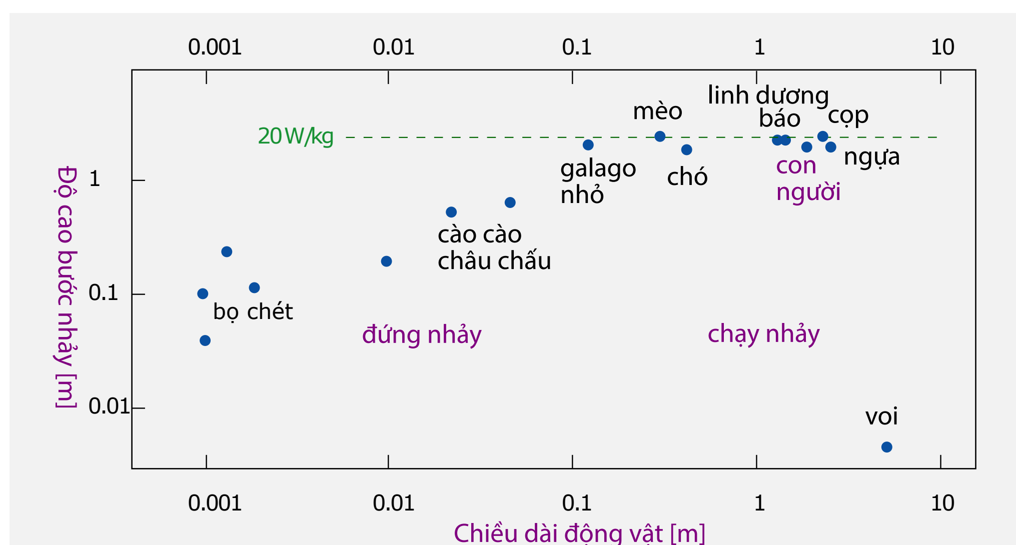
Câu đố 144 s
Đạn bắn đi từ một khẩu súng lục có nguy hiểm khi chúng rơi xuống hay không?

* *

Cảnh sát tìm thấy một tử thi ở đáy vực sâu 30 m, cách vách đá 12 m. Đây là một vụ tự sát hay một án mạng ?
Câu đố 145 s

* *

Mọi động vật trên đất liền, bất kể kích thước, bằng cách nhảy đều có thể đạt được độ cao nhiều nhất là 2.2 m, như ta thấy trong Hình 47. Giải thích điều này chỉ mất 2 hàng. Bạn có thể tìm ra cách giải thích không?
Xem 64
Câu đố 146 s



HÌNH 47 Độ cao mà các động vật trên đất liền đạt được bằng cách nhảy.

Hai vấn đề cuối nảy sinh vì phương trình (6) mô tả sự rơi tự do không đúng trong mọi trường hợp. Thí dụ như đối với lá cây hay miếng khoai tây chiên. Như Galilei đã biết, đây là hệ quả của sức cản không khí; ta sẽ bàn đến nó sau đây. Vì sức cản không khí, quỹ đạo của hòn đá không phải là parabol.

Đúng ra, có nhiều trường hợp, quỹ đạo của hòn đá rơi không phải là parabol dù không có không khí. Bạn có thể tìm được trường hợp nào không? Câu đố 147 s

Vui đùa với các vector

Các đại lượng vật lý có hướng xác định như vận tốc được mô tả bằng 3 con số hay 3 thành phần và được gọi là *vector*. Việc học tính toán với các đại lượng có nhiều thành phần như vậy là một năng lực quan trọng đối với nhiều khoa học.

Vector có thể biểu diễn bằng các mũi tên nhỏ. Bạn nên nhớ một điều vector không có điểm gốc xác định: hai mũi tên cùng hướng và cùng chiều dài là các vector *bằng nhau* mặc dù chúng khởi đầu tại những điểm khác nhau trong không gian. Vì các vector hành xử giống các mũi tên nên ta có thể cộng các vector và có thể nhân chúng với một số. Thí dụ như phép kéo dài một mũi tên $\boldsymbol{a} = (a_x, a_y, a_z)$ theo một tỷ lệ c tương ứng, viết theo ký hiệu các thành phần là vector $c\boldsymbol{a} = (ca_x, ca_y, ca_z)$.

Nói theo ngôn ngữ chính xác của Toán học, vector là một phần tử của tập hợp *không gian vector*, trong đó các tính chất sau được nghiệm đúng với mọi vector $\boldsymbol{a}$ và $\boldsymbol{b}$ cùng với mọi số c và d:

$$c(\boldsymbol{a}+\boldsymbol{b}) = c\boldsymbol{a} + c\boldsymbol{b} \quad , \quad (c+d)\boldsymbol{a} = c\boldsymbol{a} + d\boldsymbol{a} \quad , \quad (cd)\boldsymbol{a} = c(d\boldsymbol{a}) \quad \text{và} \quad 1\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a} \,. \qquad (9)$$

Thí dụ về không gian vector là tập hợp các *vị trí* của một vật hay tập hợp các vận tốc của chúng. Tập hợp mọi phép quay có tạo thành một không gian vector hay không? Câu đố 148 s

Mọi không gian vector cho ta định nghĩa một *vector không* và một *vector đối* duy nhất

Câu đố 149 e đối với mỗi vector.

Trong phần lớn các không gian vector điều quan trọng khi mô tả thiên nhiên là giới thiệu khái niệm *chiều dài* – xác định 'độ lớn' – của một vector. Điều này được thực hiện thông qua một bước trung gian, cụ thể là tích vô hướng của 2 vector. Tích này được gọi là 'vô hướng' vì kết quả của nó là một số vô hướng; một số *vô hướng* là một số giống nhau đối với mọi quan sát viên bất kể các hướng có khác nhau.* *Tích vô hướng* của 2 vector $\boldsymbol{a}$ và $\boldsymbol{b}$ là một số thoả các điều sau đây

$$\begin{aligned} \boldsymbol{aa} &\geqslant 0 \,, \\ \boldsymbol{ab} &= \boldsymbol{ba} \,, \\ (\boldsymbol{a}+\boldsymbol{a}')\boldsymbol{b} &= \boldsymbol{ab}+\boldsymbol{a}'\boldsymbol{b} \,, \\ \boldsymbol{a}(\boldsymbol{b}+\boldsymbol{b}') &= \boldsymbol{ab}+\boldsymbol{ab}' \text{ và} \\ (c\boldsymbol{a})\boldsymbol{b} &= \boldsymbol{a}(c\boldsymbol{b}) = c(\boldsymbol{ab}) \,. \end{aligned} \quad (10)$$

Định nghĩa này không duy nhất; tuy vậy có một tích vô hướng *tiêu chuẩn*. Trong toạ độ Descartes, tích vô hướng chuẩn sẽ là

$$\boldsymbol{ab} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z \,. \quad (11)$$

Nếu tích vô hướng của 2 vector bằng 0 thì chúng *trực giao* với nhau. (Hãy chứng minh
Câu đố 150 e điều này!) Nên nhớ là ta có thể viết là $\boldsymbol{ab}$ hay $\boldsymbol{a}\cdot\boldsymbol{b}$ có dấu chấm ở giữa.

Chiều dài hay *độ lớn* hay *chuẩn* của một vector có thể được định nghĩa là căn bậc 2 của tích vô hướng của nó với chính nó: $a = \sqrt{\boldsymbol{aa}}$. Thường thường và cũng trong sách này, chiều dài được viết bằng các chữ *in nghiêng* trong khi vector được viết bằng các chữ **in đậm**. Độ lớn thường được viết là $a = \sqrt{\boldsymbol{a}^2}$. Một không gian vector với một tích vô hướng thường được gọi là không gian vector *Euclide*.

Tích vô hướng đặc biệt hữu dụng trong việc xác định hướng. Thật vậy, tích vô hướng
Câu đố 151 s của 2 vector mã hoá góc giữa chúng. Bạn có thể suy ra hệ thức quan trọng này không?

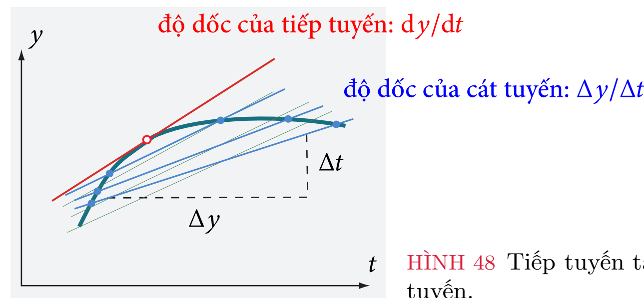
Đứng yên là gì? Vận tốc là gì?

Trong mô tả Galilei về thiên nhiên, chuyển động và đứng yên đối lập với nhau. Nói cách khác, một vật đứng yên khi vị trí của nó, tức là toạ độ của nó, không thay đổi theo thời gian. Hay *đứng yên* (Galilei) được định nghĩa là

$$\boldsymbol{x}(t) = \text{const} \,. \quad (12)$$

Ta cũng nhắc lại rằng $\boldsymbol{x}(t)$ là cách viết tắt của 3 toạ độ $(x(t), y(t), z(t))$. Sau đây ta sẽ nhận thấy rằng định nghĩa đứng yên này, mâu thuẫn với ấn tượng ban đầu, không hữu dụng và phải mở rộng. Tuy vậy, mọi định nghĩa đứng yên đều hàm ý rằng ta có thể phân

* Ta cũng nói thêm là trong Toán học, một số vô hướng là một *con số*; trong Vật lý, một số vô hướng là một số *bất biến* tức là giống nhau đối với mọi quan sát viên. Mặt khác, trong Toán học, vector là một phần tử của không gian vector; trong Vật lý, vector là một phần tử *bất biến* của không gian vector tức là một đại lượng mà toạ độ của nó khi được quan sát bởi các quan sát viên khác nhau sẽ thay đổi giống như các thành phần của vận tốc.



HÌNH 48 Tiếp tuyến tại một điểm là giới hạn của cát tuyến.

biệt các vật không đứng yên bằng cách so sánh độ nhanh của sự dịch chuyển của chúng. Như vậy ta có thể định nghĩa *vận tốc* $\boldsymbol{v}$ của một vật là độ biến thiên vị trí $\boldsymbol{x}$ của vật theo thời gian t. Điều này thường được viết như sau

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{x}}{\mathrm{d}t} . \tag{13}$$

Trong biểu thức này, đúng với mỗi toạ độ, d/dt có nghĩa là 'độ biến thiên theo thời gian'. Ta có thể nói rằng vận tốc là *đạo hàm* của vị trí đối với thời gian. *Tốc độ* v là độ lớn của vận tốc $\boldsymbol{v}$. Như vậy ta có $v = \sqrt{\boldsymbol{v}\boldsymbol{v}}$. Đạo hàm được viết dưới dạng phân thức để nhắc người đọc nhớ rằng chúng được dẫn xuất từ ý tưởng về độ dốc. Biểu thức

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} \quad \text{là sự viết tắt của} \quad \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} , \tag{14}$$

để nói rằng *đạo hàm tại một điểm* là giới hạn của độ dốc cát tuyến trong vùng lân cận của điểm đó, như được biểu diễn trong Hình 48. Định nghĩa này bao hàm các quy tắc tính

Câu đố 152 e

$$\frac{\mathrm{d}(s+r)}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} + \frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} \quad , \quad \frac{\mathrm{d}(cs)}{\mathrm{d}t} = c\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} \quad , \quad \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2 s}{\mathrm{d}t^2} \quad , \quad \frac{\mathrm{d}(sr)}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}r + s\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t} , \tag{15}$$

c là một số bất kỳ. Đây là mọi điều ta cần biết về đạo hàm trong Vật lý. Các đại lượng như dt và ds, có lúc cũng hữu dụng, được gọi là *vi phân*. Các khái niệm này bắt nguồn từ Gottfried Wilhelm Leibniz.* Đạo hàm là nền tảng của mọi phép tính dựa trên sự liên tục của không gian và thời gian. Leibniz là người sử dụng nó để mô tả và sử dụng vận tốc trong các công thức vật lý và đặc biệt, sử dụng ý tưởng vận tốc tại một điểm trong thời gian hay trong không gian để tính toán.

Định nghĩa của vận tốc đã giả sử rằng việc lấy giới hạn khi $\Delta t \to 0$ là có nghĩa. Nói cách khác, ta đã giả sử rằng khoảng thời gian *vô cùng nhỏ* hiện hữu trong thiên nhiên.

* Gottfried Wilhelm Leibniz (b. 1646 Leipzig, d. 1716 Hannover), luật sư, vật lý gia, toán gia, triết gia, chính trị gia và sử gia. Ông là một trong các tư tưởng gia vĩ đại của nhân loại; ông phát minh phép tính vi phân (trước Newton) và xuất bản nhiều quyển sách có giá trị, có uy tín trong nhiều lĩnh vực khác nhau, trong số đó có *De arte combinatoria*, *Hypothesis physica nova*, *Discours de métaphysique*, *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, the *Théodicée* và the *Monadologia*.


HÌNH 49 Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716).

Định nghĩa của vận tốc bằng đạo hàm chỉ có ý nghĩa khi cả không gian và thời gian được mô tả bằng các tập hợp *liên tục*, hay nói theo Toán học, là tập hợp *liên thông và đầy đủ*. Trong phần còn lại của cuộc du hành ta sẽ không quên rằng ngay từ khởi đầu của Vật lý cổ điển, *sự vô hạn* đã có mặt trong sự mô tả thiên nhiên. Khái niệm nhỏ vô hạn là một phần trong định nghĩa của vận tốc. Thật vậy, phép tính vi phân có thể được định nghĩa là sự nghiên cứu các đại lượng vô cùng nhỏ và ứng dụng của chúng. Như vậy ta thấy rằng sự xuất hiện của vô hạn không tự động làm cho sự mô tả trở nên bất khả hay không chính xác. Để duy trì sự chính xác, các vật lý gia chỉ sử dụng hai loại nhỏ nhất trong các loại vô hạn khả hữu. Định nghĩa chính xác của chúng và một tổng quan về các loại khác sẽ được trình bày sau.

Quyển III, trang 286
Xem 65
Sự xuất hiện của vô hạn trong mô tả thông thường của chuyển động bị chỉ trích lần đầu tiên bằng các lập luận đầy mỉa mai của Zeno of Elea (khoảng 445 BCE), môn đệ của Parmenides. Theo lập luận của ông, Zeno giải thích rằng vì tại mỗi thời điểm vật đã cho chỉ chiếm một phần không gian tương ứng với kích thước của nó nên khái niệm vận tốc tức thời vô nghĩa; ông kết luận đầy châm biếm rằng không có chuyển động. Ngày nay ta không xem đây là lập luận chống lại *sự hiện hữu* của chuyển động mà là chống lại *sự mô tả* thông thường, đặc biệt chống lại việc sử dụng khả năng chia nhỏ vô hạn của không
Câu đố 153 e
gian và thời gian. (Bạn có đồng ý không?) Tuy vậy sự mô tả bị Zeno mỉa mai lại hữu dụng trong đời sống hằng ngày. Lý do khá đơn giản nhưng sâu sắc: trong đời sống thông thường, sự thay đổi có tính liên tục.

Một sự thay đổi lớn trong thiên nhiên được tạo thành từ nhiều thay đổi nhỏ. Tính chất này của thiên nhiên không có tính hiển nhiên. Ta nên nhớ rằng ta đã ngầm giả định rằng đường đi của một vật không phải là đường fractal hay một thực thể có hành trạng kỳ quái. Trong đời sống thông thường thì điều này đúng; trong các lĩnh vực khác của thiên nhiên thì không. Sự nghi ngờ của Zeno sẽ được phục hồi một phần trong cuộc hành trình của chúng ta và càng lúc càng tăng khi ta tiến bước. Sự phục hồi chỉ có một
Quyển VI, trang 65
phần, vì lời giải sau cùng sẽ khác với những gì mà ta dự tính; mặt khác, mối nghi ngờ về ý tưởng 'vận tốc tại một điểm' hoá ra là có căn cứ. Dù vậy, lúc này ta không có sự lựa chọn: ta tiếp tục với giả định cơ bản là thiên nhiên thay đổi một cách liên tục.

Tại sao vận tốc phải là một khái niệm cần thiết? Vì ta hướng tới sự chính xác trong việc mô tả thiên nhiên nên ta cần tìm ra một danh sách đầy đủ các tính chất cần thiết để xác định trạng thái của một vật. Khái niệm vận tốc chắc chắn có trong danh sách này.

BẢNG 13 Một số giá trị gia tốc đo được.

Đối tượng được đo	Gia tốc
Giá trị nhỏ nhất mà ta có thể tìm được?	Câu đố 154 s
Gia tốc lùi của thiên hà M82 khi nó phát ra các luồng khí	$10\,\mathrm{fm/s^2}$
Gia tốc của một sao trẻ khi nó phát ra luồng khí	$10\,\mathrm{pm/s^2}$
Gia tốc Fathoumi của Mặt trời khi nó chuyển động quanh Ngân hà	$0.2\,\mathrm{nm/s^2}$
Độ giảm tốc của vệ tinh Pioneer do sự mất cân bằng bức xạ nhiệt	$0.8\,\mathrm{nm/s^2}$
Gia tốc ly tâm ở xích đạo do chuyển động quay của Trái đất	$33\,\mathrm{mm/s^2}$
Gia tốc của electron trong dây dẫn điện gia dụng do dòng điện giao phiên	$50\,\mathrm{mm/s^2}$
Gia tốc của xe điện ngầm cao tốc	$1.3\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc hấp dẫn của Mặt trăng	$1.6\,\mathrm{m/s^2}$
Độ giảm tốc tối thiểu của xe hơi, theo luật định, trên nhựa đường khô	$5.5\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc hấp dẫn trên mặt đất phụ thuộc vào vị trí	$9.8 \pm 0.3\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc trọng lực tiêu chuẩn	$9.806\,65\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc cực đại đối với xe hơi hay xe gắn máy của các bánh xe dẫn động	$15\,\mathrm{m/s^2}$
Phi thuyền không gian khi cất cánh	20 tới $90\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc của báo cheetah	$32\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc hấp dẫn trên bề mặt Mộc tinh	$25\,\mathrm{m/s^2}$
Ruồi bay (*Musca domestica*)	*c.* $100\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc của hòn đá được ném đi	*c.* $120\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc kích khởi túi khí trong xe hơi	$360\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc bật nhảy nhanh nhất (của froghopper, *Philaenus spumarius*, một loại côn trùng)	$4\,\mathrm{km/s^2}$
Banh tennis chạm tường	$0.1\,\mathrm{Mm/s^2}$
Gia tốc viên đạn trong nòng súng	$2\,\mathrm{Mm/s^2}$
Gia tốc ly tâm nhanh nhất	$0.1\,\mathrm{Gm/s^2}$
Gia tốc của proton trong máy gia tốc lớn	$90\,\mathrm{Tm/s^2}$
Gia tốc của proton trong hạt nhân	$10^{31}\,\mathrm{m/s^2}$
Gia tốc khả hữu lớn nhất trong thiên nhiên	$10^{52}\,\mathrm{m/s^2}$

Gia tốc

Tương tự như vậy ta gọi *gia tốc* $\boldsymbol{a}$ của một vật là độ biến thiên của vận tốc $\boldsymbol{v}$ theo thời gian hay

$$\boldsymbol{a} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{x}}{\mathrm{d}t^2} . \tag{16}$$

Gia tốc là những gì ta cảm thấy khi Trái đất rung động, khi máy bay cất cánh, hay khi xe đạp đi vào khúc quanh. Nhiều thí dụ đã được cho trong Bảng 13. Gia tốc là đạo hàm của vận tốc theo thời gian. Giống như vận tốc, gia tốc vừa có độ lớn, vừa có hướng. Tóm lại, gia tốc là một đại lượng vector. Như thường lệ, tính chất này được chỉ rõ bằng cách sử dụng chữ **in đậm** khi ký hiệu nó.

BẢNG 14 Một số cảm biến gia tốc.

Phép đo	Cảm biến	Phạm vi đo
Hướng của trọng lực trong cây cối (rễ, thân, cành, lá)	statolith trong tế bào	0 tới 10 m/s^2
Hướng và độ lớn của gia tốc trong động vật hữu nhũ	thông nang và tiểu nang ở tai trong (cảm nhận gia tốc dài); màng trong mỗi ống bán khuyên (cảm nhận gia tốc góc)	0 tới 20 m/s^2
Hướng và độ lớn của gia tốc trong máy đi bộ	cảm biến áp điện	0 tới 20 m/s^2
Hướng và độ lớn của gia tốc trong tai nạn xe	cảm biến của túi khí sử dụng gốm áp điện	0 tới 2000 m/s^2

Trong một xe hơi thông thường hay trên một xe gắn máy ta có thể *cảm nhận* được gia tốc. (Các gia tốc này nhỏ hơn 1g và do đó vô hại.) Ta cảm thấy gia tốc vì một phần trong cơ thể bị di chuyển chống lại một số phần khác: gia tốc làm ta bị biến dạng. Các phần chuyển động có thể là các phần nhỏ trong tai, dạ dày trong bụng, hay đơn giản là tứ chi với thân mình. Mọi cảm biến gia tốc, bao gồm các cảm biến trong Bảng 14 hay có trong Hình 50, dù sinh học hay kỹ thuật, đều hoạt động theo cách này.

Gia tốc được cảm nhận. Cơ thể ta bị biến dạng và các cảm biến bên trong cơ thể phát hiện điều đó, như khi ta chơi trong công viên trò chơi. Gia tốc càng lớn tác dụng càng mạnh. Thí dụ như khi gia tốc một người đang ngồi theo hướng của đầu với giá trị bằng 2, 3 lần gia tốc trọng lực, mắt sẽ ngừng hoạt động và cảnh vật tối đi vì máu không lên

Xem 66

mắt nữa. Gia tốc liên tục từ 3 tới 5 g hay từ 7 tới 9 g trong một thời gian ngắn, ta sẽ mất ý thức vì não không nhận được đủ máu và máu có thể thoát ra khỏi bàn chân hay ống quyển. Gia tốc lớn theo hướng của bàn chân của một người đang ngồi có thể dẫn tới sốc tuần hoàn máu trên não. Người gặp nguy cơ nhiều nhất là phi công phản lực cơ; họ có y phục đặc biệt bơm khí nén lên cơ thể để tránh cho máu tụ sai chỗ.

Câu đố 155 s

Bạn có thể nghĩ đến tình trạng bạn bị gia tốc nhưng *không* cảm thấy nó không?

Vận tốc là đạo hàm của vị trí theo thời gian. Gia tốc là đạo hàm bậc 2 của vị trí. Ta có thể định nghĩa các đạo hàm cao hơn gia tốc theo cách tương tự. Chúng thêm chút ít vào sự mô tả thiên nhiên, vì – như ta sẽ thấy sau này – chúng cũng như gia tốc không có ích lắm đối với sự mô tả trạng thái chuyển động của một hệ.

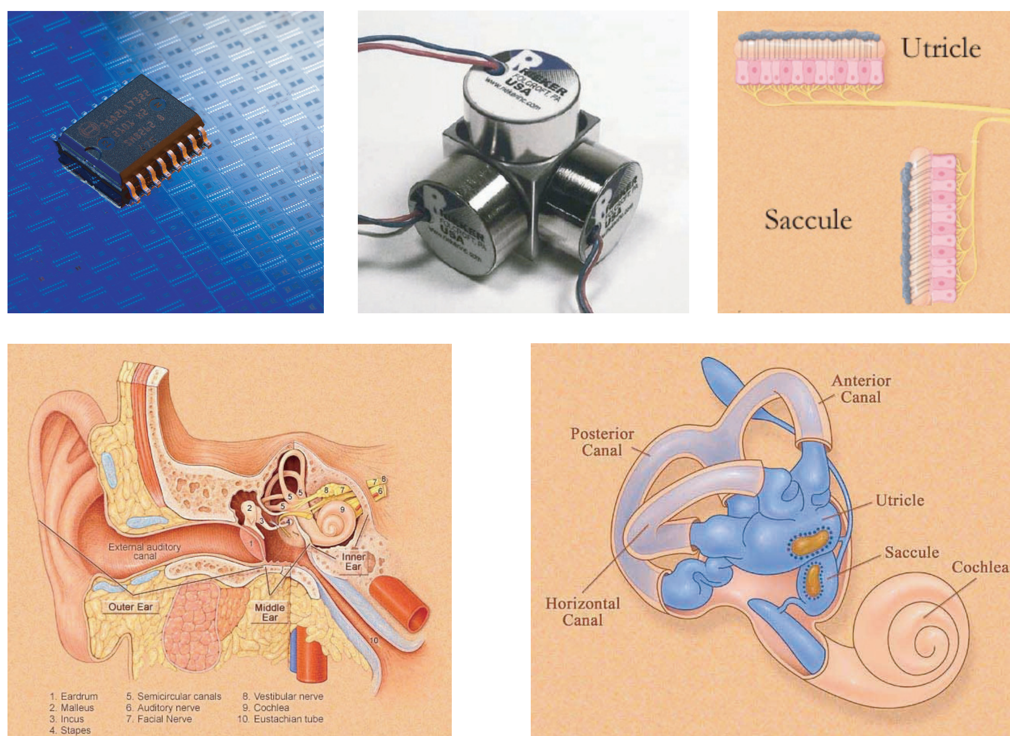
Câu đố 156 s

Từ vật thể tới chất điểm

> “Wenn ich den Gegenstand kenne, so kenne ich auch sämtliche Möglichkeiten seines Vorkommens in Sachverhalten.*”
>
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 2.0123

Mục tiêu của việc nghiên cứu chuyển động là tìm ra một cách mô tả vật thể lẫn trạng thái của nó một cách đầy đủ và chính xác. Nhờ khái niệm về không gian, việc mô tả vật

* ‘Nếu tôi biết một vật thì tôi cũng biết tất cả các khả năng biểu hiện của nó trong các hiện tượng nguyên tử.’



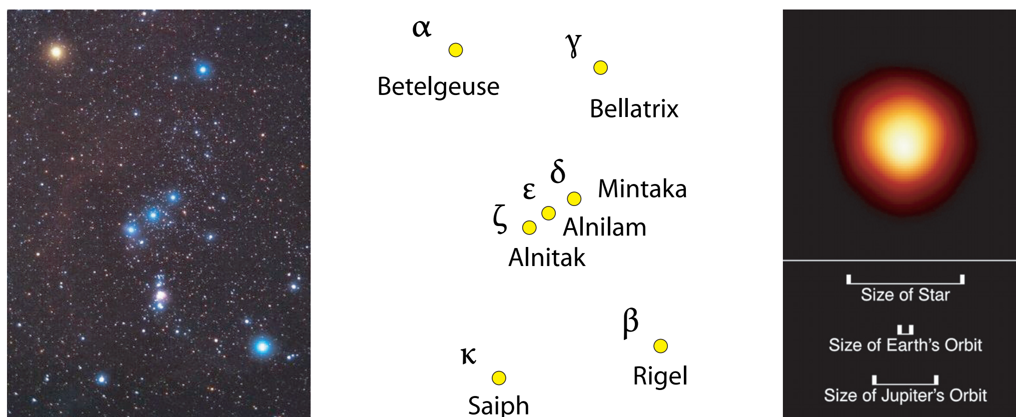
HÌNH 50 Ba gia tốc kế: cảm biến áp điện đơn trục trong túi khí, gia tốc kế điện dung 3 chiều và thông nang, tiểu nang gần 3 ống bán khuyên ở tai trong của người (© Bosch, Rieker Electronics, Northwestern University).

thể trở nên tao nhã một cách đáng kể. Đặc biệt, từ kinh nghiệm hằng ngày ta cũng đã biết rằng mọi vật mà ta nhìn thấy đều có một tính chất quan trọng: chúng có thể được chia thành *nhiều phần*. Thông thường kinh nghiệm này được diễn tả là mọi vật hay vật thể, đều có 2 tính chất. Một, chúng được tạo thành từ *vật chất*,* là phương diện chịu trách nhiệm cho tính bất khả xuyên thấu của vật, tức là tính chất giúp cho 2 vật không thể ở cùng một chỗ. Thứ hai, các vật có một dạng nào đó hay *hình dạng*, là phương thức chính xác theo đó, tính bất khả xuyên thấu được phân bố trong không gian. Câu đố 157 e

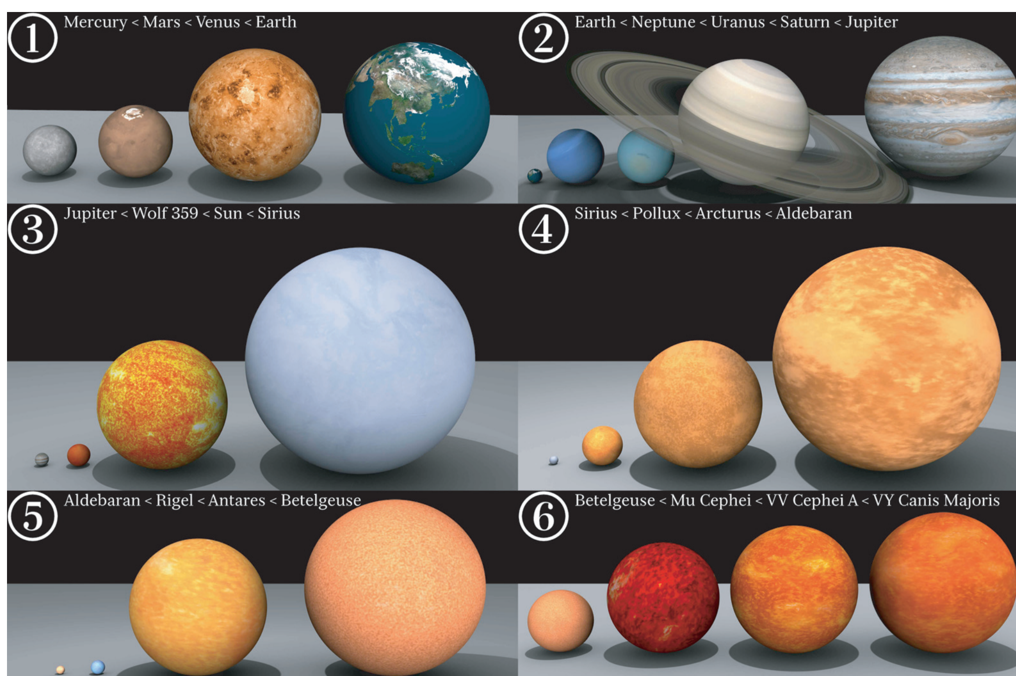
Để mô tả chuyển động thật chính xác, tiện nhất là ta bắt đầu từ các vật đơn giản nhất. Nhìn chung thì vật càng nhỏ càng đơn giản. Một vật nhỏ đến nỗi ta không cần tính đến các thành phần của nó được gọi là một *hạt*. (Thuật ngữ cũ *tiểu thể* đã lỗi thời.) Hạt được lý tưởng hoá thành các viên đá nhỏ. Trong trường hợp cực hạn, một hạt có kích thước *không đáng kể* so với kích thước của chuyển động của nó, sao cho ta có thể mô tả đầy đủ vị trí của nó chỉ bằng một bộ 3 toạ độ *đơn lẻ*, được gọi là *hạt điểm* hay *chất điểm*. Trong phương trình (6), hòn đá đã được giả sử là một chất điểm như vậy.

Các vật giống như chất điểm, tức là các vật nhỏ hơn mọi kích thước mà ta có thể đo được, có thật trong đời sống thông thường hay không? Có và không. Thí dụ đáng chú ý nhất là ngôi sao. Hiện nay, ta có thể đo được kích thước góc nhỏ cỡ 2 µrad, một giới hạn

* Vật chất là một từ dẫn xuất từ tiếng Latin 'materia', mà nghĩa gốc của nó là 'gỗ' và biến đổi qua các bước trung gian từ chữ 'mater', có nghĩa là 'mẹ'. Xem 67



HÌNH 51 Chòm sao Lạp Hộ với màu sắc tự nhiên (© Matthew Spinelli) và sao Betelgeuse (ESA, NASA).

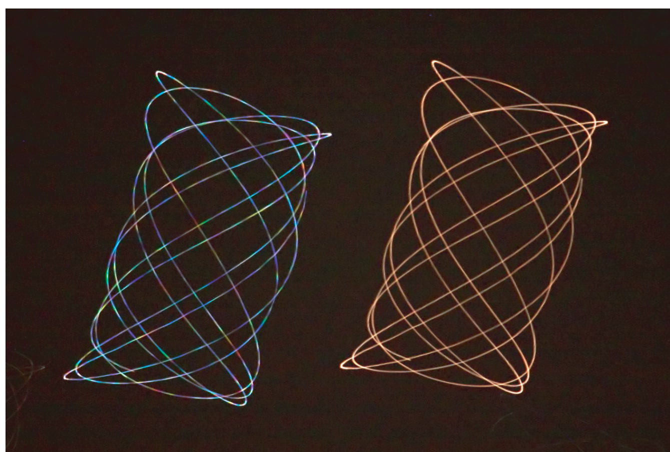


HÌNH 52 So sánh kích thước các ngôi sao (© Dave Jarvis).

được định ra do sự dao động của không khí trong khí quyển. Trong không gian, đối với kính thiên văn Hubble chuyển động quanh Trái đất, giới hạn góc là do đường kính của nó và bậc giới hạn khoảng 10 nrad. Thật ra mọi ngôi sao mà ta nhìn thấy từ Trái đất thì nhỏ hơn thế và như vậy có thể được xem là 'chất điểm', cho dù ta quan sát bằng các kính thiên văn mạnh nhất.

Có một ngoại lệ là kích thước của các ngôi sao lớn hay ở gần đa số là sao kềnh đỏ, có thể đo được bằng các dụng cụ đặc biệt.* Betelgeuse, là ngôi sao nằm ở vai cao hơn của

* Website stars.astro.illinois.edu/sow/sowlist.html có phần giới thiệu các loại sao khác nhau. Trang www.



HÌNH 53 Regulus và Hoả tinh, được chụp với thời gian phơi sáng là 10 s ngày 4/6/2010 bằng một máy ảnh bị lắc lư, cho ta thấy sự khác nhau giữa một ngôi sao thì lấp lánh còn hành tinh thì không lấp lánh (© Jürgen Michelberger).

chòm sao Lạp Hộ trong Hình 51, Mira thuộc chòm sao Kình Ngư, Antares thuộc chòm sao Hổ Cáp, Aldebaran thuộc chòm sao Kim Ngưu và Sao Thiên Lang thuộc chòm sao Đại Khuyển là các thí dụ về các sao có kích thước mà ta có thể đo được; tất cả đều cách Xem 68 Trái đất ít hơn 2000 năm ánh sáng. Để so sánh kích thước ta hãy xem Hình 52. Dĩ nhiên là giống như Mặt trời, các sao khác có kích thước hữu hạn nhưng ta không thể chứng minh điều này bằng cách đo kích thước của chúng trong các ảnh chụp. (Có đúng như Câu đố 158 s vậy không?)

Sự khác nhau giữa các nguồn sáng 'giống một điểm' và có kích thước hữu hạn có thể thấy được bằng mắt trần: vào ban đêm, các ngôi sao lấp lánh còn các hành tinh thì Câu đố 159 e không. (Hãy kiểm tra điều này!) Một minh hoạ đẹp mắt được trình bày trong Hình 53. Hiệu ứng này bắt nguồn từ sự nhiễu loạn của khí quyển. Sự nhiễu loạn có ảnh hưởng tới các ngôi sao giống một điểm vì nó làm lệch tia sáng đi một chút. Mặt khác, các nhiễu loạn này lại quá yếu nên không thể làm các nguồn có kích thước lớn như hành tinh hay vệ tinh nhân tạo lấp lánh vì độ lệch trung bình bằng 0. * Một vật *giống như một điểm đối với mắt trần* nếu kích thước góc của nó nhỏ hơn $2' = 0.6$ mrad. Bạn có thể ước tính kích Câu đố 160 s thước của một hạt bụi 'giống một điểm' hay không? Ngoài ra, một vật *không thể thấy được* đối với mắt trần nếu nó giống như một điểm *và* nếu như độ trưng của nó, tức là cường độ ánh sáng phát ra từ vật đến mắt, nhỏ hơn một giá trị tới hạn nào đó. Bạn có thể ước tính xem có một vật nhân tạo nào có thể nhìn được từ Mặt trăng hay phi thuyền Câu đố 161 s không gian hay không?

Định nghĩa trên về chất điểm trong đời sống hằng ngày dễ dẫn tới sai lầm. Có chất điểm đúng nghĩa thực sự không? Có khả năng để chứng tỏ rằng một hạt có kích thước bằng 0 không? Ta cũng cần tìm hiểu và kiểm tra xem điểm có hiện hữu trong không gian

astro.wisc.edu/~dolan/constellations cho các thông tin chi tiết và thú vị về các chòm sao.

Riêng tổng quan về các hành tinh bạn hãy xem quyển sách tuyệt đẹp của Kenneth R. Lang & Charles A. Whitney, *Vagabonds de l'espace – Exploration et découverte dans le système solaire*, Springer Verlag, 1993. Bạn có thể tìm thấy hình các ngôi sao xinh đẹp trong quyển David Malin, *A View of the Universe*, Sky Publishing and Cambridge University Press, 1993.

* *Một vệ tinh* là một vật chuyển động quanh một hành tinh như Mặt trăng; một*vệ tinh nhân tạo* là một hệ thống do con người đặt vào quỹ đạo, thí dụ như Sputniks.

không. Cuộc thám hiểm sẽ đưa ta tới một kết quả đáng ngạc nhiên là không có câu trả lời cho các câu hỏi này. Bạn có thể nghĩ ra lý do không? Đừng bực bội nếu bạn thấy vấn đề này khó giải quyết; nhiều trí óc thông tuệ cũng gặp vấn đề như vậy.

Câu đố 162 s

Tuy vậy, có nhiều hạt như electron, quark hay photon trong thực tế lại giống như một điểm. Khi ta đã biết cách mô tả chuyển động của chất điểm, ta cũng có thể mô tả chuyển động của các vật linh hoạt, rắn hay có thể biến dạng: ta giả sử rằng chúng được tạo thành từ nhiều phần. Cách tiếp cận này giống như việc mô tả chuyển động của một con vật bằng cách tổ hợp chuyển động của các bộ phận khác nhau của nó. Cách mô tả đơn giản nhất, *mô tả liên tục gần đúng*, mô tả các vật có kích thước như một tập hợp vô hạn các chất điểm. Nó giúp ta hiểu và tiên đoán chuyển động của sữa, mật ong, không khí trong cơn bão lốc và mùi thơm trong các căn phòng. Chuyển động của lửa và tất cả vật ở thể khí khác, sự uốn cong của cây tre trong gió, hình dạng miếng kẹo chewing gum, sự tăng trưởng của cây cối và động vật cũng có thể mô tả bằng cách này.

Xem 69

Mọi quan sát từ trước cho tới nay đều chứng tỏ rằng chuyển động của các vật lớn có thể được mô tả hoàn toàn chính xác từ kết quả chuyển động của các thành phần của chúng. Mọi máy móc mà con người đã chế tạo đều căn cứ trên ý tưởng này. Cách mô tả chính xác hơn mô tả liên tục gần đúng sẽ được trình bày sau. Việc mô tả chuyển động của vật bằng chuyển động của các thành phần sẽ hướng dẫn chúng ta đi qua 5 quyển đầu tiên của hành trình lên đỉnh. Ta sẽ tìm hiểu đời sống bằng cách này. Chỉ trong quyển sau cùng chúng ta sẽ khám phá ra rằng, ở thang đo cơ bản, ta không thực hiện được cách phân tích này.

Quyển IV, trang 15

Chân và bánh xe

Các phần của một vật xác định hình dạng của nó. Hình dạng là một mặt quan trọng của vật: nó sẽ cho ta biết cách để đếm các vật. Đặc biệt, sinh vật luôn luôn được tạo thành từ một vật đơn lẻ. Đây không phải là một phát biểu vô nghĩa: từ sự kiện này ta có thể suy ra rằng động vật không thể có bánh xe hay chân vịt lớn mà chỉ có thể có chân, vây hay cánh. Tại sao?

Sinh vật chỉ có một mặt; nói một cách đơn giản, chúng chỉ có một miếng da. Nói theo kiểu toán học, động vật *có tính liên thông*. Điều này thường được xem là điều hiển nhiên và người ta thường cho rằng các chỗ nối hệ tuần hoàn, hệ thần kinh và mạch bạch huyết với một phần quay tròn sẽ bị rối. Tuy vậy, điều này không đơn giản như vậy, như Hình 54 cho ta thấy. Hình này chứng tỏ rằng thật ra ta có thể quay một vật liên tục đối với một vật thứ nhì mà không làm rối chỗ nối. Ba chiều của không gian cho phép *chuyển động quay có ràng buộc* diễn ra. Bạn có thể tìm ra một thí dụ về loại chuyển động này, thường được gọi là *chuyển động quay có ràng buộc*, trong cơ thể của mình hay không? Bạn có thể thấy có bao nhiêu sợi cáp được cột chặt với vật quay mà không cản trở chuyển động quay này hay không?

Quyển V, trang 367 Xem 70

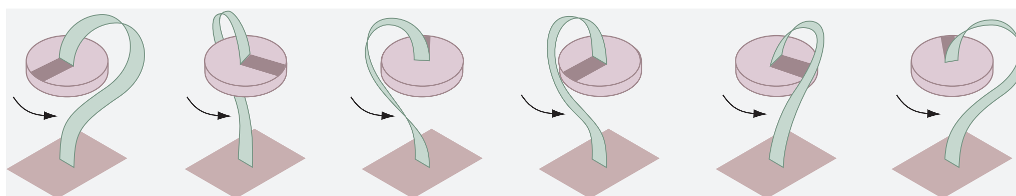
Câu đố 163 s

Câu đố 164 s

Mặc dù động vật có những phần có khả năng quay được, phương pháp trong Hình 54 hay Hình 55 vẫn không thể được sử dụng để tạo ra bánh xe hay chân vịt. Bạn có thể biết tại sao không? Tiến hoá không có sự lựa chọn: không có những động vật có những phần (lớn) quay quanh một trục như bánh xe. Đó là lý do trong thiên nhiên không có chân vịt và bánh xe. Dĩ nhiên giới hạn này không loại bỏ việc sinh vật chuyển động bằng cách quay nguyên cả vật: cây cỏ lăn, hạt giống của các cây khác nhau, một số côn trùng, nhiều loài nhện, trẻ em và vũ công đôi khi cũng chuyển động bằng cách lăn người đi.

Câu đố 165 s

Xem 71



HÌNH 54 Chuyển động quay có ràng buộc: Một vật có thể quay liên tục như thế nào mà không làm rối chỗ nối với vật thứ 2?



HÌNH 55 Chuyển động quay có ràng buộc: chuyển động quay liên tục của một vật được cột vào môi trường chung quanh (QuickTime film © Jason Hise).

Những cơ thể đơn lớn và mọi sinh vật lớn chỉ có thể chuyển động nhờ *sự biến dạng* của cơ thể: do đó chúng bị giới hạn đối với việc đi bộ, chạy, nhảy, lăn, trượt, bò, quạt vây, đập cánh. Chuyển động 1 chân là một cách phổ biến để làm biến dạng cơ thể. Xem 72

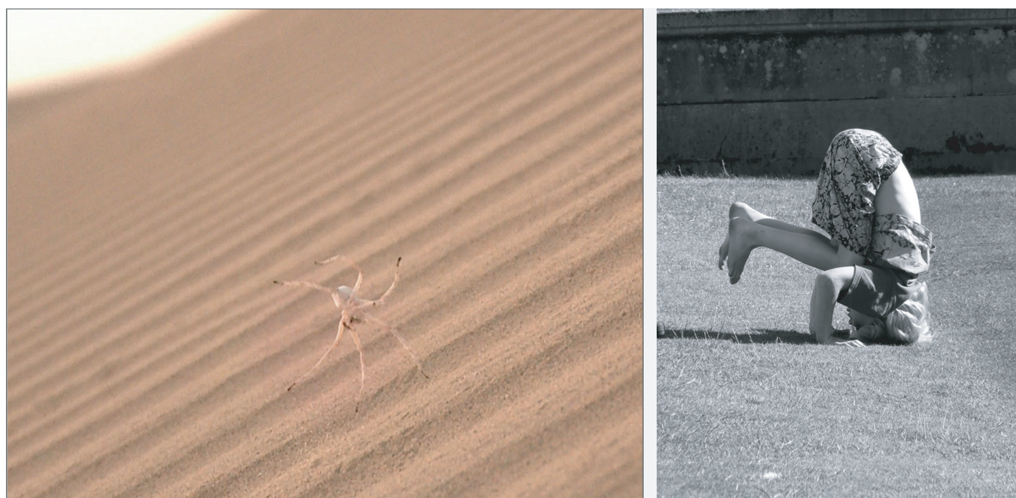
Các thí dụ về việc sử dụng chân trong thiên nhiên được trình bày trong Hình 56 và Hình 57. Thí dụ cực đoan nhất về nhện lăn – có nhiều loài – là *Cebrennus villosus* sống trong cát ở Morocco. Chúng dùng chân để gia tốc cho chuyển động lăn, chúng có thể thay đổi hướng lăn và có thể lăn lên dốc 30 % – một kỳ công mà loài người chưa thực hiện được. Film về chuyển động lăn có thể tìm được ở trang www.bionik.tu-berlin.de.* Việc đi trên nước được trình bày trong Hình 127 ở Trang 171; các thí dụ về cánh sẽ được cho sau, cũng như các loại biến dạng khác nhau để bơi trong nước. Xem 73 Xem 74

Quyển V, trang 281
Ngược lại, *các hệ nhiều vật*, như xe đạp, thuyền đạp hay các máy móc khác, có thể

* Chuyển động lăn cũng gặp ở nhện bánh xe Namibia thuộc loài *Carparachne*; film về chuyển động của chúng có thể tìm thấy trên Internet.



HÌNH 56 Chân và 'bánh xe' trong sinh vật: cuốn chiếu đỏ Aphistogoniulus erythrocephalus (cơ thể dài 15 cm), một con tắc kè trên tấm thuỷ tinh (cơ thể dài 15 cm), một con a míp Amoeba proteus (kích thước 1 mm), tôm lăn Nannosquilla decemspinosa (cơ thể dài 2 cm, lăn 1.5 vòng/s, di chuyển tới 2 m, có thể lăn lên những con dốc thoai thoải) và sâu bướm lăn Pleurotya ruralis (chỉ có thể lăn xuống dốc để tránh thú ăn thịt), (© David Parks, Marcel Berendsen, Antonio Guillén Oterino, Robert Full, John Brackenbury / Science Photo Library).



HÌNH 57 Hai sinh vật hiếm hoi có thể lăn lên dốc hay trên các sườn dốc: nhện sa mạc Cebrennus villosus và Người thông minh (© Ingo Rechenberg, Karva Javi).

chuyển động mà *không có* sự thay đổi hình dạng của các thành phần nên có thể sử dụng các trục bánh xe, chân vịt và các dụng cụ quay khác.*

Tóm lại, khi ta quan sát một kết cấu mà trong đó có một số phần đang quay liên tục (và không có 'nối dây' như Hình 54) thì ta biết ngay rằng nó là một nghệ phẩm: nó là máy móc, không phải là một sinh vật (mà được con người chế tạo). Tuy vậy, giống như nhiều phát biểu về sinh vật, điều này cũng có các ngoại lệ.

Sự khác biệt giữa các vật thể một và hai thành phần thường rất ít nếu cả hệ thống chỉ gồm có vài phân tử. Ta thấy rõ điều này trong vi khuẩn. Các sinh vật như *Escherichia coli*, vi khuẩn nổi tiếng được tìm thấy trong ruột người hay vi khuẩn thuộc họ *Salmonella*, đều bơi bằng tiên mao. *Tiên mao* là các sợi mảnh, giống như sợi tóc mọc ra từ màng tế bào. Vào thập niên 1970 người ta đã chứng tỏ rằng mỗi tiên mao được tạo thành từ 1 hay vài phân tử dài có đường kính vài chục nm, quay xung quanh trục của nó.

Quyển V, trang 282 Tiên mao của vi khuẩn có thể quay theo cả 2 chiều, có khi tới hơn 1000 vòng/s và Xem 75 mọi tiên mao có thể quay một cách đồng bộ hoàn toàn. Những bánh xe này nhỏ đến nỗi chúng không cần khớp nối cơ học; Hình 58 cho ta thấy nhiều kiểu động cơ trong vi Xem 76 khuẩn. Ta có thể thấy chuyển động và kết cấu của các cấu trúc kỳ diệu này chi tiết hơn trong các film Hình 59 và Hình 60.

Tóm lại, trong sinh vật có bánh xe, dù chỉ là các bánh xe tí hon. Sự tăng trưởng và chuyển động của các bánh xe này là các kỳ quan của thiên nhiên. Không thể có các bánh xe vĩ mô trong sinh vật, mặc dù có thể có chuyển động lăn.

Các câu đố vui và lạ về Động học

Câu đố 167 s Bánh xe lớn nhất mà người ta đã làm ra là gì?

* *

Một quả bóng đá được thủ môn phát lên có vận tốc khoảng 30 m/s. Hãy dùng một đoạn video để tính khoảng cách nó bay được rồi so nó với khoảng cách trong một trận đấu Câu đố 168 s thật. Khác biệt từ đâu mà có?

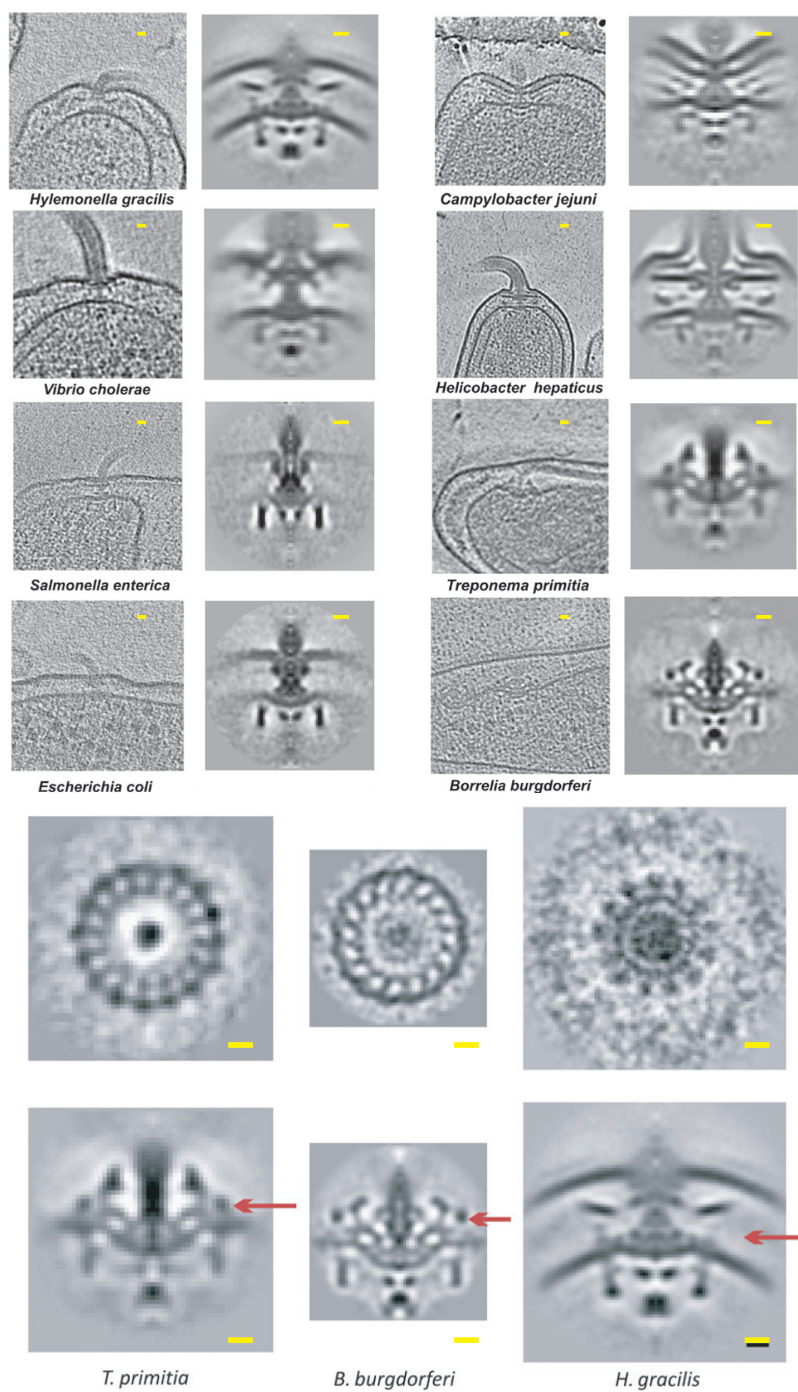
* *

Một xe lửa khởi hành với tốc độ không đổi 10 m/s giữa 2 thành phố A và B, cách nhau 36 km. Cuộc hành trình mất 1h. Đồng thời với xe lửa, một chim bồ câu bắt đầu bay từ A tới B, với tốc độ 20 m/s. Vì nhanh hơn xe lửa nên chim tới B trước. Sau đó chim bay ngược lại A; khi gặp xe lửa nó lại quay lại B. Chim tiếp tục bay tới lui cho tới khi xe lửa Câu đố 169 e tới B. Tính khoảng cách mà chim bay được?

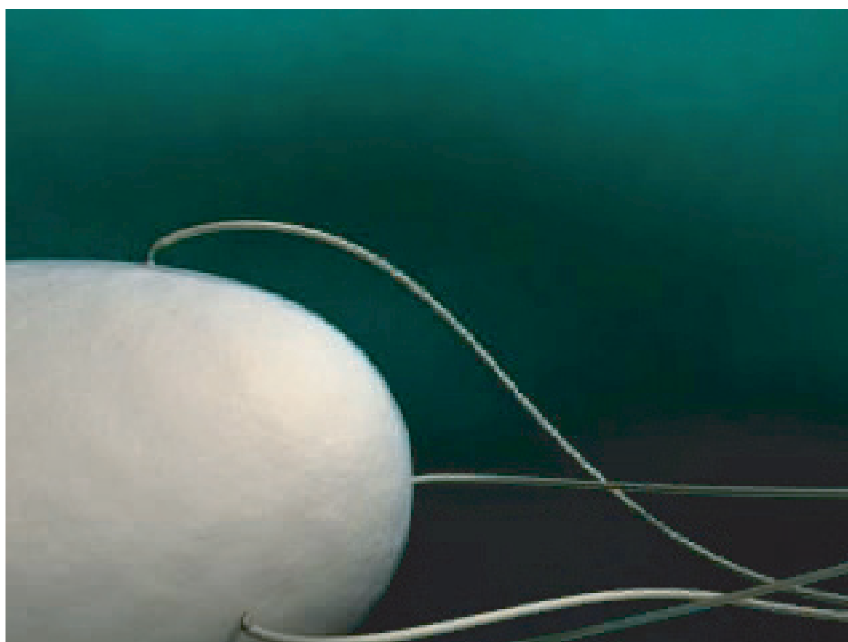
* *

Hình 62 minh hoạ vùng chung quanh một súng đại bác, có một đường bao mà nếu đứng

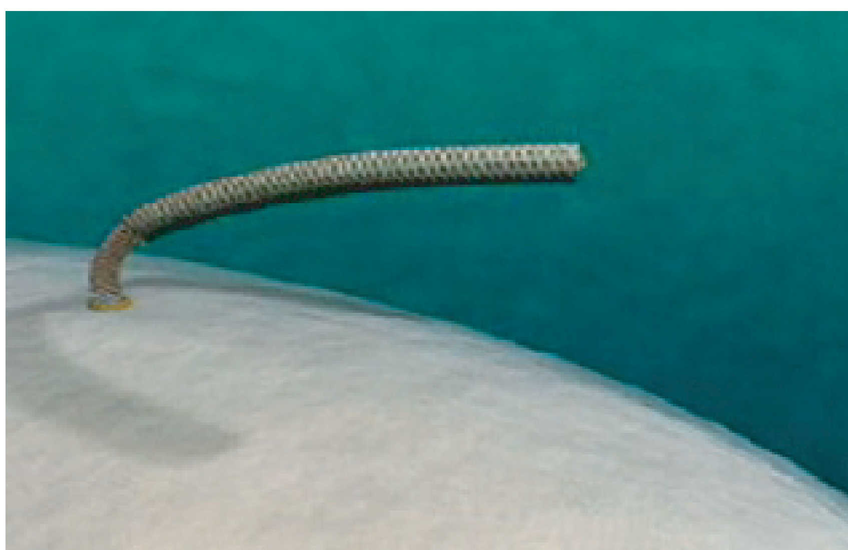
* Dù gặp phải sự bất tiện của việc không thể sử dụng các phần quay và bị ràng buộc vào việc chỉ có một mảnh, các kết cấu chuyển động của thiên nhiên, thường được gọi là động vật, hoạt động tốt hơn những máy móc do con người chế tạo. Thí dụ bạn thử so sánh kích thước của máy bay nhỏ nhất của sự tiến hoá với máy bay do con người chế tạo. (Hãy xem thí dụ như trang pixelito.reference.be.) Có 2 lý do giải thích cho sự bất đồng này. Một, các hệ của thiên nhiên đã tích hợp cả hệ thống sửa chữa và bảo trì. Thứ hai, thiên nhiên có thể chế tạo các cấu trúc lớn nằm trong các vật chứa với các chỗ mở ra nhỏ. Đúng ra thiên nhiên rất tài giỏi ở những việc mà con người từng làm khi họ tạo ra những con thuyền buồm nằm trong chai thuỷ Câu đố 166 s tinh. Cơ thể người có nhiều thí dụ như vậy; bạn có thể kể tên một vài thí dụ không?



HÌNH 58 Một số loại động cơ tiên mao tìm thấy trong thiên nhiên; các ảnh được chụp bằng phép chụp cắt lớp lạnh. Các vạch vàng dài 10 nm (© S. Chen & al., EMBO Journal, Wiley & Sons).



HÌNH 59 Chuyển động quay xuôi và ngược của một tiên mao của vi khuẩn (QuickTime film © Osaka University).



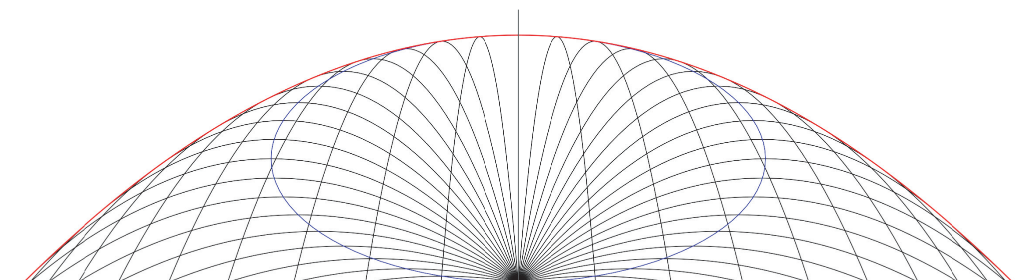
HÌNH 60 Sự tăng trưởng của một tiên mao của vi khuẩn cho ta thấy rõ kết cấu phân tử (QuickTime film © Osaka University).

bên ngoài nó bạn sẽ không bị bắn trúng. Trong thế kỷ 17, Evangelista Torricelli đã chứng minh mà không dùng đại số, rằng đường này là một parabol và được gọi là *parabola an toàn*. Bạn có thể chứng minh điều này không? Bạn có thể chứng minh các điểm cao nhất của mọi quỹ đạo nằm trên một ellipse hay không? Parabol an toàn cũng xuất hiện trong các bồn nước phun.

Câu đố 170 e



HÌNH 61 Sao chổi giống như sao chổi McNaught đẹp mắt xuất hiện năm 2007 là hình ảnh hay vật thể? Làm cách nào bạn chứng minh được câu trả lời? (Và tại sao đuôi của nó lại cong?) (© Robert McNaught)



HÌNH 62 Parabol an toàn quanh một súng đại bác, được biểu diễn bằng màu đỏ. Điểm cao nhất của các quỹ đạo tạo thành một ellipse, được biểu diễn bằng màu xanh. (© Theon)

* *

Đặt một cây viết chì đứng thăng bằng (đầu viết hướng lên!) trên một mảnh giấy gần cạnh bàn. Bạn có thể kéo tờ giấy mà không làm đổ cây viết hay không? Câu đố 171 e

* *

Một chuyến bay khứ hồi – từ A tới B rồi trở lại A – nhanh hơn khi có gió hay khi không có gió? Câu đố 172 e



HÌNH 63 Thí nghiệm về âm phát quang với bộ dụng cụ hội tụ siêu âm ở trong nước (© Detlef Lohse).

* *

Mức gia tốc mà con người có thể chịu được tuỳ thuộc vào thời gian tác dụng. Trong 1/10 s, là 30 g = 300 m/s^2, sinh ra lúc ghế ngồi trên phi cơ được bắn ra. (Hình như kỷ lục là khoảng 80 g = 800 m/s^2.) Nhưng thường thì gia tốc 15 g = 150 m/s^2 hay lớn hơn đã là nguy hiểm.

* *

Gia tốc *vi mô* lớn nhất xuất hiện trong sự va chạm của các hạt, là 10^{35} m/s^2. Gia tốc *vĩ mô* lớn nhất có thể tìm thấy trong sự suy sụp bên trong *các siêu tân tinh*, các sao bùng nổ sáng đến nỗi ta có thể nhìn thấy nó trên bầu trời giữa ban ngày. Một ứng viên trên Trái đất là bên trong các bọt khí trong chất lỏng khi co mạnh, trong quá trình *tạo hốc*. Sự tạo hốc thường sinh ra ánh sáng, một hiệu ứng được Frenzel và Schultes phát hiện
Xem 77 năm 1934 và được gọi là hiện tượng *âm phát quang*. (Hãy xem Hình 63.) Nó xuất hiện rõ ràng nhất khi các bọt khí trong nước giãn ra và co lại do các loa đặt dưới nước ở tần số 30 kHz và cho phép ta đo chính xác các chuyển động của bọt khí. Ở một ngưỡng tần số nào đó, bán kính bọt thay đổi với tốc độ 1500 m/s trong thời gian nhỏ chừng vài µm,
Xem 78 tạo ra một gia tốc bằng nhiều lần của 10^{11} m/s^2.

* *

Không dễ tạo ra các chân. Thiên nhiên cũng đã chế tạo ra một động vật nhiều chân, *Illacme plenipes*, với 750 chân. Động vật này dài từ 3 tới 4 cm và rộng 0.5 mm. Đây có lẽ vẫn là kỷ lục cho tới nay. Khác với tên của nó, không có con nào có 1000 chân.

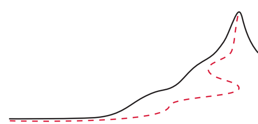
Tóm tắt về Động học

Sự mô tả về chuyển động thông thường của các chất điểm với 3 toạ độ là $(x(t), y(t), z(t))$ thì đơn giản, chính xác và đầy đủ. Việc mô tả các quỹ đạo là nền tảng của Động học. Kết quả là, không gian được mô tả là không gian 3 chiều Euclide và vận tốc, gia tốc là các vector Euclide.

Sự mô tả chuyển động bằng quỹ đạo đã xem như ta có thể *theo dõi* chuyển động của các vật trên đường đi của chúng. Do đó mô tả này thường không đúng trong một trường

hợp quan trọng: chuyển động của hình ảnh.





Chương 4

Từ vật thể và hình ảnh tới sự bảo toàn

Khi đi bộ xuyên qua rừng ta thấy hai loại chuyển động khác nhau: gió lùa qua kẽ lá và trên mặt đất, ta thấy bóng của lá cây chuyển động. Bóng là một
Xem 79 loại hình ảnh đơn giản. Cả vật và hình đều có thể chuyển động; cả hai đều thay đổi vị trí theo thời gian. Cọp chạy, tuyết rơi và dung nham do núi lửa phun ra nhưng cái bóng đi theo chúng ta, chùm ánh sáng quay tròn trên đỉnh tháp của hải đăng trong một đêm mù sương và cầu vồng thường cách ta một khoảng không đổi cũng là các thí dụ về chuyển động.

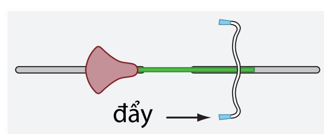
Cả vật lẫn hình đều khác với môi trường xung quanh là chúng có *đường biên* xác định kích thước và hình dạng. Nhưng ai đã từng xem film hoạt hình đều biết rằng hình ảnh có thể chuyển động theo những cách kỳ cục hơn vật. Hình ảnh có thể thay đổi kích thước và hình dạng, hay ngay cả màu sắc, một kỳ công mà chỉ có một vài vật có thể thực hiện được. ** Hình ảnh có thể xuất hiện và biến mất không để lại dấu vết, nhân bản, xuyên qua nhau, đi ngược dòng thời gian, bất chấp trọng lực hay mọi lực khác. Hình ảnh, ngay cả các bóng thông thường, đều có thể chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Hình ảnh có thể trôi nổi trong không gian và giữ khoảng cách đối với các vật tiến đến gần nó. Vật thể
Xem 81 hầu như không làm được những điều này. Nhìn chung, 'các định luật vật lý của phim hoạt hình' khác nhiều với các định luật trong thiên nhiên. Đúng ra chuyển động của các hình ảnh hình như không tuân theo định luật nào, khác với chuyển động của vật thể. Chúng ta cần các tiêu chuẩn chính xác để có thể phân biệt 2 trường hợp này.

Việc phân biệt rõ hình ảnh và vật thể có thể được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp giống như trẻ em và động vật sử dụng khi đứng trước gương lần đầu tiên: chúng thử *chạm vào* những gì chúng nhìn thấy. Thật vậy,

▷ Nếu ta có thể chạm vào những gì chúng ta thấy – hay chính xác hơn, nếu ta có thể làm nó chuyển động bằng một cú va chạm – thì ta gọi nó là một *vật thể*, nếu khác đi thì là một *hình ảnh*.***

** Trừ sự thay đổi chậm chạp của màu lá cây trong mùa thu, trong thiên nhiên chỉ có vài loại tinh thể, bạch tuộc và động vật thân mềm, tắc kè và vài loại động vật khác làm được điều này. Trong các vật nhân tạo, TV, màn hình máy tính, vật bị nung nóng và vài loại laser có thể làm được như vậy. Bạn có biết thêm thí dụ nào
Câu đố 173 s không? Một nguồn thông tin tuyệt hảo về chủ đề màu sắc là quyển sách của K. Nassau, *The Physics and Chemistry of Colour – the fifteen causes of colour*, J. Wiley & Sons, 1983. Trong lĩnh vực khoa học phổ thông, quyển sách đẹp nhất là tác phẩm cổ điển của thiên văn gia người Flanders Marcel G. J. Minnaert, *Light and Colour in the Outdoors*, Springer, 1993, một phiên bản cập nhật dựa trên bộ sách hấp dẫn của
Xem 80 ông, *De natuurkunde van 't vrije veld*, Thieme & Cie, 1937. Mọi khoa học gia đều phải đọc nó. Trên mạng, cũng có website – đơn giản nhưng tuyệt vời – webexhibits.org/causesofcolour.

*** Ta có thể gộp thêm yêu cầu là vật có thể quay được; tuy vậy, kỳ lạ thay, yêu cầu này sẽ gây ra nhiều khó



HÌNH 64 Xe đạp sẽ quay về phía nào?

Ta không thể chạm vào hình ảnh nhưng có thể chạm vào vật. Hình ảnh không thể chạm nhau nhưng vật thì có thể. Và như ta đã biết chạm vào vật có nghĩa là cảm thấy nó chống lại sự chuyển động. Một vật nào đó, như bướm, ít kháng cự và ta có thể di chuyển nó dễ dàng, còn vật khác, như tàu thuỷ chống lại nhiều hơn làm cho ta di chuyển chúng khó khăn hơn.

Quyển IV, trang 140

▷ Tính chống lại sự chuyển động – nói chính xác hơn, sự thay đổi chuyển động – được gọi là *quán tính* và độ khó khăn để di chuyển một vật được gọi là *khối lượng (quán tính)*.

Hình ảnh không có quán tính lẫn khối lượng.

Tóm lại, để mô tả chuyển động ta phải phân biệt các vật, mà ta có thể chạm vào và không thể xuyên qua được, với hình ảnh, không thể chạm vào và xuyên qua được. Mọi vật khả kiến đều là vật thể hoặc hình ảnh; không có khả năng thứ 3. (Bạn có đồng ý không?) Nếu một vật ở rất xa nên ta không chạm vào nó được, thí dụ như ngôi sao hay sao chổi, ta sẽ khó quyết định được nó là hình ảnh hay vật; ta sẽ thường xuyên gặp lại khó khăn này. Thí dụ như làm sao bạn có thể chứng tỏ rằng sao chổi – trong Hình 61 đẹp đẽ – là vật và không phải là hình ảnh như Galilei đã kết luận (một cách sai lầm)?

Câu đố 174 s
Câu đố 175 s

Tương tự như vật được tạo thành từ *vật chất*, hình ảnh được tạo thành từ *bức xạ*. Hình ảnh là lĩnh vực của rối bóng, cinema, TV, đồ hoạ máy tính, tín ngưỡng và các chuyên gia về ma tuý. Nhiếp ảnh, film ảnh, ma quái, thiên thần, giấc mơ và ảo giác là hình ảnh (đôi khi còn liên kết với sự rối loạn chức năng của não bộ). Để hiểu hình ảnh, ta cần nghiên cứu bức xạ (cùng với mắt và não bộ). Tuy vậy, do sự quan trọng của vật thể – sau cùng chúng ta cũng là vật thể – nên ta sẽ nghiên cứu nó trước.

Xem 82

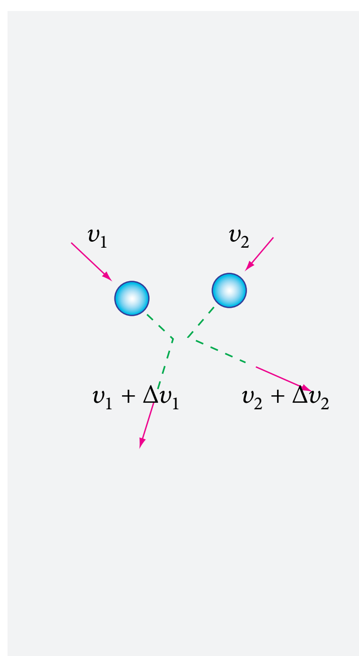
Chuyển động và tiếp xúc

> “Democritus quả quyết rằng chỉ có một loại chuyển động: nó là kết quả của sự va chạm.”
> Aetius, *Opinions*.

Xem 83

Khi một đứa trẻ đi xe đạp 1 bánh, nó sẽ sử dụng một quy luật tổng quát trong thế giới của chúng ta: một vật tác dụng lên một vật khác sẽ làm cho nó chuyển động. Thật vậy, trong khoảng 6 giờ, ai cũng có thể học được cách đi và vui đùa với xe đạp một bánh. Giống như trong mọi niềm hoan lạc của cuộc sống, như đồ chơi, động vật, phụ nữ, máy móc, trẻ em, đàn ông, biển, gió, cinema, tung hứng, rong chơi và yêu đương, đều có cái này đẩy cái kia. Như vậy thách thức đầu tiên của chúng ta là mô tả sự truyền chuyển động do tiếp xúc – và do va chạm – nếu nói cho chính xác.

khăn trong trường hợp nguyên tử, như đã được giải thích ở Trang 86 quyển IV.



HÌNH 65 Sự va chạm dùng để xác định khối lượng.



HÌNH 66 Kilogram chuẩn (© BIPM).

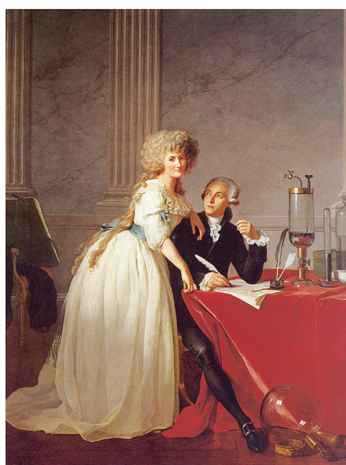
Tiếp xúc không phải là cách duy nhất làm cho một vật chuyển động; một phản thí dụ là trái táo rụng từ trên cây hay nam châm hút một vật khác. Các ảnh hưởng không có tiếp xúc còn hấp dẫn hơn: không có gì bị che giấu nhưng lại có điều gì đó huyền bí. Chuyển động do tiếp xúc hình như dễ hiểu hơn và đó là lý do tại sao người ta thường bắt đầu với nó. Tuy nhiên cho dù ta có chọn như vậy thì cũng không thể tránh được các tương tác không tiếp xúc. Lựa chọn bắt đầu với tiếp xúc sẽ dẫn ta tới một kinh nghiệm tương tự như kinh nghiệm đi xe đạp. (Hãy xem Hình 64.) Nếu ta đi một chiếc xe đạp ở một tốc độ không đổi và cố quẹo trái bằng cách đẩy vào bên phải tay lái, ta sẽ quẹo về *bên phải*. Ngoài ra, những người đi xe mô tô cũng biết tác dụng kỳ quái này chỉ phát huy ở một tốc độ tối thiểu nào đó. Bạn có thể xác định tốc độ này không? Hãy cẩn thận! Đẩy quá mạnh sẽ làm cho bạn té.

Câu đố 176 s

Điều tương tự cũng xảy ra cho chúng ta; mặc dù ta lựa chuyển động do tiếp xúc thì phần còn lại của cuộc hành trình sẽ nhanh chóng buộc ta nghiên cứu các tương tác không tiếp xúc.

Khối lượng là gì?

> Δός μοί (φησι) ποῦ στῶ καὶ κινῶ τὴν γῆν.
> Da ubi consistam, et terram movebo.*
>
> Archimedes



HÌNH 67 Antoine Lavoisier (1743–1794) và vợ ông.

Khi ta đẩy vào một vật không quen thuộc như khi ta đá vào một vật trên đường, ta tự động chú ý đúng vào phương diện mà trẻ em tìm hiểu khi đứng trước gương hay khi chúng thấy một chấm laser đỏ lần đầu tiên. Chúng kiểm tra xem có thể đẩy hay bắt được thực thể lạ hay không và chúng chú ý tới cách mà vật lạ chuyển động dưới tác động của chúng. Tất cả đều là các thí nghiệm va chạm. Phiên bản có độ chính xác cao của một thí nghiệm va chạm bất kỳ được minh hoạ trong Hình 65. Sau khi lặp lại các thí nghiệm như vậy với các cặp vật khác nhau ta tìm được:

▷ Một đại lượng *cố định* m_i có thể được gán cho mọi vật i, được xác định theo hệ thức

$$\frac{m_2}{m_1} = -\frac{\Delta v_1}{\Delta v_2} \qquad (17)$$

trong đó Δv là độ biến thiên vận tốc do sự va chạm tạo ra. Số m_i được gọi là *khối lượng* của vật thứ i.

Vật càng khó di chuyển thì số này càng lớn. Để có khối lượng, là một đại lượng quen thuộc đối với mọi người, khối lượng của một vật đã được lựa chọn một cách đặc biệt, phải được ấn định trước. Trước năm 2019, thực ra đã có một vật đặc biệt như vậy như ta thấy trong Hình 66, được gọi là *kilogram chuẩn*. Nó được bảo quản cẩn thận trong một bình thuỷ tinh ở Sèvres gần Paris. Kilogram chuẩn đã được sử dụng để xác định khối lượng của mọi vật khác trên thế giới. Người ta chỉ tiếp xúc với kilogram chuẩn vài năm một lần vì bụi, sự ẩm ướt hay các vết trầy sẽ làm cho khối lượng của nó thay đổi. Ngoài ra, kilogram chuẩn *không* được giữ trong chân không vì sự hoá hơi cũng làm thay đổi khối lượng của nó. Tuy vậy, mọi biện pháp bảo dưỡng cũng không giải quyết được vấn đề bền vững nên vào năm 2019, người ra đã định nghĩa lại đơn vị kilogram bằng cách

* 'Hãy cho tôi một điểm tựa, tôi sẽ làm Trái đất chuyển động.' Archimedes (*c.* 283–212), khoa học gia và kỹ sư Hy Lạp. Câu này do Pappus gán cho ông. Archimedes cũng đã biết rằng sự phân biệt giữa vật chuyển động được và vật không chuyển động được của các luật sư là vô nghĩa.

Xem 84


HÌNH 68 Christiaan Huygens (1629–1695).

sử dụng các hằng số cơ bản G (một cách gián tiếp thông qua tần số chuyển mức của caesium), c và $\hbar$ đã được trình bày trong Hình 1. Từ đây, mọi người đều có thể sản xuất kilogram chuẩn riêng của họ trong phòng thí nghiệm – miễn là có bảo dưỡng đầy đủ. Như vậy *khối lượng* đo *độ khó khăn để làm cho một vật chuyển động.* Khối lượng lớn hơn thì di chuyển khó hơn. Điều hiển nhiên là chỉ vật thể có khối lượng; hình ảnh thì không. (Ngoài ra, từ 'khối lượng' được dẫn xuất, thông qua tiếng Latin, từ tiếng Hy Lạp μαζα – bánh mì – hay tiếng Do Thái 'mazza' – bánh mì không có men. Nghĩa của từ đã thay đổi khá nhiều.) Xem 67

Các thí nghiệm với các vật trong đời sống thông thường cũng chứng tỏ rằng trong suốt quá trình va chạm, tổng tất cả khối lượng *được bảo toàn*:

$$\sum_i m_i = \text{const} . \qquad (18)$$

Định luật bảo toàn khối lượng được Antoine-Laurent Lavoisier phát biểu đầu tiên.* Sự bảo toàn khối lượng cũng hàm ý rằng khối lượng của một hệ phức hợp bằng tổng của khối lượng của các thành phần. Tóm lại, *khối lượng cũng là số đo lượng vật chất.*

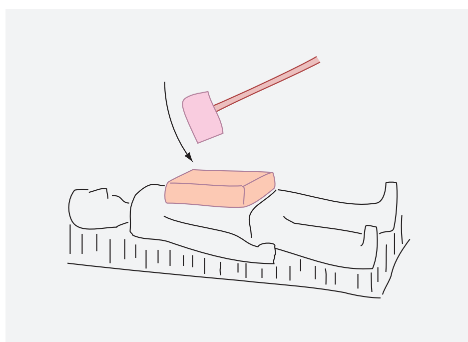
Trong một thí nghiệm nổi tiếng vào thế kỷ 16 trong nhiều tuần, Santorio Santorio (Sanctorius) (1561–1636), bạn của Galilei, sống cùng với thức ăn, nước uống và chất bài tiết trên một cái cân lớn. Ông muốn kiểm tra sự bảo toàn khối lượng. Trọng lượng đo được đã thay đổi theo thời gian như thế nào? Câu đố 177 s

Các giáo chủ các giáo phái khác nhau thường bịa đặt và vẫn còn bịa đặt rằng họ có thể làm ra vật chất từ hư vô. Điều này là một thí dụ về sự không bảo toàn khối lượng. Làm cách nào để chứng tỏ rằng đó là những kẻ lường gạt? Câu đố 178 s

Động lượng và khối lượng

Ta cũng có thể định nghĩa khối lượng bằng cách khác. Ta có thể gán một số m_i cho mỗi vật i sao cho sự va chạm không bị ảnh hưởng từ bên ngoài thì tổng sau đây không đổi

* Antoine-Laurent Lavoisier (b. 1743 Paris , d. 1794 Paris), hoá học gia thiên tài. Lavoisier là người đầu tiên hiểu rằng cháy là một phản ứng với oxygen; ông khám phá ra thành phần của nước và đưa khối lượng vào Hoá học. Một câu chuyện nổi tiếng về tính cách của ông: khi ông bị kết án tử (một cách bất công) trong cách mạng Pháp, ông quyết định tận dụng cơ hội này cho thí nghiệm khoa học. Ông thông báo rằng ông sẽ cố gắng chớp mắt liên tục sau khi đầu rơi để cho người khác biết thời gian mất ý thức. Lavoisier đã chớp mắt 11 lần. Không rõ chuyện này có thật hay không. Tuy vậy người ta đã biết rằng nó có thể là sự thật. Thật vậy, sau khi rơi đầu mà không đau đớn hay bị sốc, một người có thể giữ được ý thức tới nửa phút. Xem 85



HÌNH 69 Việc làm này có nguy hiểm không?

trong suốt quá trình va chạm:

$$\sum_i m_i \boldsymbol{v}_i = \text{const} . \quad (19)$$

Tích của vận tốc $\boldsymbol{v}_i$ và khối lượng m_i được gọi là *động lượng* của vật. *Động lượng toàn phần* của hệ không đổi trước và sau khi va chạm; động lượng là một đại lượng *được bảo toàn*.

▷ Sự bảo toàn động lượng xác định khối lượng.

Hai định luật bảo toàn (18) và (19) được vật lý gia Christiaan Huygens phát biểu lần đầu tiên:* *Động lượng và khối lượng được bảo toàn trong mọi chuyển động của vật thể.* Đặc biệt, ta không thể định nghĩa một đại lượng nào cho chuyển động của hình ảnh. Một số giá trị động lượng điển hình được cho trong Bảng 15.

Sự bảo toàn động lượng hàm ý rằng khi một hình cầu chuyển động đụng vào một hình cầu khác đứng yên có cùng khối lượng và năng lượng không bị mất mát thì có một hệ thức đơn giản xác định góc giữa 2 hướng chuyển động của 2 hình cầu này sau khi va chạm. Bạn có thể tìm ra quy luật này không? Nó đặc biệt hữu dụng khi ta chơi billiards. Sau này ta sẽ khám phá ra rằng quy luật này *không đúng* đối với các tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng.

Câu đố 179 s

Quyển II, trang 70

Một hệ quả khác của sự bảo toàn động lượng được trình bày trong Hình 69: một người nằm trên giường đinh có một tấm bê tông lớn đặt trên bụng. Một người khác đập tấm bê tông bằng một cây búa nặng. Vì sự va chạm được tấm bê tông hấp thu gần hết nên người nằm không đau đớn hay gặp nguy hiểm – trừ khi thiếu tấm bê tông. Tại sao?

Câu đố 180 s

Định nghĩa trên của khối lượng đã được (17) vật lý gia và triết gia Ernst Mach tổng quát hoá ** sao cho nó vẫn dùng được ngay cả trong trường hợp 2 vật tương tác không

* Christiaan Huygens (b. 1629 's Gravenhage, d. 1695 Hofwyck) là một trong các nhà vật lý và toán học nổi tiếng vào thời đó. Huygens đã minh giải nhiều khái niệm cơ học; ông cũng là một trong những người đầu tiên chứng minh rằng ánh sáng là sóng. Ông đã viết những quyển sách quan trọng về lý thuyết xác suất, nguyên tắc hoạt động của đồng hồ, quang học và thiên văn học. Huygens đã chứng tỏ rằng tinh vân Orion gồm nhiều ngôi sao, đã khám phá ra Titan, vệ tinh của Thổ tinh và đã chứng tỏ rằng các vành của Thổ tinh được tạo thành từ đá. (Điều này tương phản với chính Thổ tinh có mật độ nhỏ hơn nước.)

** Ernst Mach (1838 Chrlice–1916 Vaterstetten), vật lý gia và triết gia Áo. Đơn vị *mach* của tốc độ phi cơ là bội số của tốc độ âm trong không khí (khoảng 0.3 km/s) được đặt theo tên của ông. Ông cũng nghiên

BẢNG 15 Một số giá trị đo được của động lượng.

Đối tượng quan sát	Động lượng
Hình ảnh	0
Động lượng của photon màu lục	$1.2 \cdot 10^{-27}$ Ns
Động lượng trung bình của phân tử oxygen trong không khí	10^{-26} Ns
Động lượng của photon tia X	10^{-23} Ns
Động lượng của photon γ	10^{-17} Ns
Động lượng lớn nhất của hạt trong máy gia tốc	1 fNs
Động lượng khả hữu lớn nhất của một hạt sơ cấp – động lượng Planck	6.5 Ns
Banh billiard nhanh nhất	3 Ns
Đạn súng trường đang bay	10 Ns
Cú đấm trong quyền anh	15 tới 50 Ns
Người đi bộ thong thả	80 Ns
Cú vồ của sư tử	kNs
Cái vẫy đuôi của cá voi	kNs
Xe hơi trên xa lộ	40 kNs
Sự va chạm của vẫn thạch có đường kính 2 km	100 TNs
Động lượng của thiên hà khi va chạm với nhau	lên tới 10^{46} Ns

tiếp xúc với nhau miễn là chúng tương tác dọc theo đường thẳng nối 2 vị trí của chúng.

▷ Tỷ số khối lượng của 2 vật được định nghĩa là số đối của nghịch đảo tỷ số 2 gia tốc

$$\frac{m_2}{m_1} = -\frac{a_1}{a_2} , \qquad (20)$$

trong đó a là gia tốc của mỗi vật trong tương tác.

Định nghĩa này đã được tìm hiểu cặn kẽ trong cộng đồng vật lý, chủ yếu là trong thế kỷ 19. Một vài điểm tóm lược các kết quả:

— Định nghĩa khối lượng *bao hàm* sự bảo toàn của động lượng toàn phần $\sum mv$. Sự bảo toàn động lượng *không phải là* một định luật tách biệt. Sự bảo toàn động lượng không thể kiểm tra được bằng thực nghiệm, vì khối lượng được định nghĩa bằng cách xem như sự bảo toàn động lượng được nghiệm đúng.
— Định nghĩa khối lượng *kéo theo* đẳng thức giữa $m_1 a_1$ và $-m_2 a_2$. Các tích như vậy được gọi là *lực*. Sự bằng nhau của lực và phản lực không phải là một định luật tách rời; khối lượng được định nghĩa bằng cách xem như định luật này được nghiệm đúng.

cứu nền tảng của Cơ học. Tư tưởng của ông về khối lượng và quán tính đã ảnh hưởng đến sự phát triển của Thuyết tương đối tổng quát và dẫn tới nguyên lý Mach mà ta sẽ gặp sau này. Ông cũng có vinh dự là là khoa học gia cuối cùng chối bỏ – một cách khôi hài và bất chấp mọi bằng chứng – về sự hiện hữu của nguyên tử.

— Định nghĩa khối lượng *độc lập* với sự tiếp xúc và nguyên nhân gây ra gia tốc như điện, lực hấp dẫn hay các tương tác khác...* Vì sự tương tác không có trong định nghĩa khối lượng nên khối lượng được nghĩa bằng tương tác điện, hạt nhân hay hấp dẫn đều phù hợp với nhau, miễn là động lượng được bảo toàn. Mọi tương tác đã biết đều bảo toàn động lượng. Vì một số lý do không may mang tính lịch sử, khối lượng đo được bằng tương tác điện hay hạt nhân được gọi là khối lượng 'quán tính' và khối lượng đo được bằng cách sử dụng lực hấp dẫn được gọi là khối lượng 'hấp dẫn'. Hoá ra sự phân biệt nhân tạo này vô nghĩa; điều này đặc biệt trở nên rõ ràng khi ta lấy điểm quan sát *cách xa* các vật có liên quan.
— Định nghĩa khối lượng đòi hỏi quan sát viên đứng yên hay chuyển động theo quán tính.

Bằng cách đo khối lượng các vật thể chung quanh, ta có thể tìm hiểu khoa học và nghệ thuật thí nghiệm. Một tổng quan về các dụng cụ đo khối lượng được cho trong Bảng 18 và Hình 71. Một số kết quả đo được liệt kê trong Bảng 16.

Bằng cách đo khối lượng vật, ta khẳng định được các tính chất chính của khối lượng. Trước hết, khối lượng thông thường có *cộng tính*, vì khối lượng 2 vật kết hợp bằng tổng khối lượng 2 vật. Hơn nữa khối lượng có tính *liên tục*; nó hầu như chỉ có giá trị dương. Sau cùng, khối lượng thông thường *được bảo toàn*; khối lượng của một hệ, được định nghĩa như khối lượng của mọi thành phần, không thay đổi theo thời gian nếu hệ cô lập với phần còn lại của thế giới. Khối lượng không chỉ bảo toàn trong va chạm mà còn bảo toàn khi nóng chảy, hoá hơi, tiêu hoá hay trong các quá trình thông thường khác.

Mọi tính chất của khối lượng thông thường được tóm lược trong Bảng 17. Sau này ta sẽ nhận thấy rằng nhiều tính chất chỉ là gần đúng. Các thí nghiệm có độ chính xác cao sẽ cho thấy sự sai lệch này.** Tuy vậy, định nghĩa khối lượng vẫn không thay đổi trong cuộc thám hiểm của chúng ta.

Định nghĩa khối lượng thông qua định luật bảo toàn động lượng hàm ý rằng khi một vật rơi, Trái đất cũng được gia tốc hướng lên một lượng nhỏ. Nếu ta đo được con số này, ta có thể xác định được khối lượng Trái đất. Không may là ta không làm được điều này.
Câu đố 182 s Bạn có thể tìm được cách tốt hơn để xác định khối lượng Trái đất hay không?

Định nghĩa khối lượng và động lượng cho phép ta trả lời câu hỏi của Hình 70. Một viên gạch treo lên trần nhà; một sợi chỉ cột dưới viên gạch và bạn kéo nó. Bạn có thể
Câu đố 183 e điều chỉnh cách kéo như thế nào để sợi trên đứt? Sợi dưới đứt?

Tóm tắt Bảng 17, khối lượng của một vật được mô tả chính xác nhất bằng *một số thực dương*, thường được viết tắt là m hay M. Đây là hệ quả trực tiếp từ tính bất khả xuyên thấu của vật chất. Thật vậy, một khối lượng (quán tính) *âm* đồng nghĩa với vật sẽ chuyển động ngược hướng với lực tác dụng hay gia tốc. Một vật như vậy sẽ không giữ được trong một cái hộp; nó sẽ đi xuyên qua vách muốn giữ nó lại. Điều kỳ lạ là vật có khối lượng âm vẫn rơi xuống trong một trường của một vật có khối lượng dương lớn (mặc dù chậm
Câu đố 184 e hơn khối lượng dương tương đương). Bạn có thể chứng minh điều này không? Tuy vậy,

* Như ta đã đề cập, chỉ có lực *xuyên tâm* là tuân theo hệ thức (20) được sử dụng để định nghĩa khối lượng.
Trang 120 Lực xuyên tâm tác dụng giữa 2 khối tâm của 2 vật. Ta sẽ có một định nghĩa chính xác sau. Tuy vậy, vì mọi lực cơ bản đều xuyên tâm nên đây không phải là một ràng buộc. Chỉ có một ngoại lệ đáng chú ý: hiện tượng
Câu đố 181 s từ. Định nghĩa khối lượng có đúng trong trường hợp này không?
** Thí dụ như để xác định khối lượng ta phải *phân biệt* các vật. Điều này có vẻ tầm thường nhưng ta sẽ khám phá ra rằng ta không thể luôn luôn làm được điều này trong thiên nhiên.

BẢNG 16 Một số giá trị khối lượng đo được.

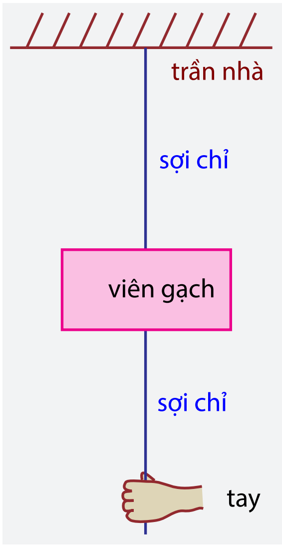
Đối tượng được đo	Khối lượng
Vật nhẹ nhất đã biết: neutrino	*c.* $2 \cdot 10^{-36}$ kg
Độ gia tăng khối lượng do sự hấp thu 1 photon màu lục	$4.1 \cdot 10^{-36}$ kg
Vật mang điện nhẹ nhất đã biết: electron	$9.109\,381\,88(72) \cdot 10^{-31}$ kg
Nguyên tử argon	39.962 383 123(3) u = 66.359 1(1) yg
Vật nhẹ nhất đã được cân (hạt vàng)	0.39 ag
Con người trong những ngày đầu tiên (trứng đã thụ tinh)	10^{-8} g
Nước bị hấp phụ trên 1 kilogram kim loại	10^{-5} g
Khối lượng Planck	$2.2 \cdot 10^{-5}$ g
Dấu tay	10^{-4} g
Kiến	10^{-4} g
Giọt nước	1 mg
Ong mật, *Apis mellifera*	0.1 g
Đồng xu Euro	7.5 g
Cá voi xanh, *Balaenoptera musculus*	180 Mg
Sinh vật nặng nhất, như nấm *Armillaria ostoyae* hay cây Sequoia *Sequoiadendron giganteum*	10^{6} kg
Xe lửa nặng nhất	$99.7 \cdot 10^{6}$ kg
Tàu thuỷ đi trên biển nặng nhất	$400 \cdot 10^{6}$ kg
Vật lớn nhất mà con người đã di chuyển (Dàn khoan dầu)	$687.5 \cdot 10^{6}$ kg
Băng sơn lớn ở Nam cực	10^{15} kg
Nước trên Trái đất	10^{21} kg
Khối lượng Trái đất	$5.98 \cdot 10^{24}$ kg
Khối lượng Mặt trời	$2.0 \cdot 10^{30}$ kg
Khối lượng khả kiến của Ngân hà	$3 \cdot 10^{41}$ kg
Khối lượng ước tính của Ngân hà	$2 \cdot 10^{42}$ kg
Siêu đám thiên hà Xử nữ	$2 \cdot 10^{46}$ kg
Khối lượng khả kiến tổng cộng của vũ trụ	10^{54} kg

một vật khối lượng dương sẽ nổi trên một vật có khối lượng âm lớn, như bạn có thể dễ dàng suy ra bằng cách so sánh các gia tốc liên quan. Một khối lượng dương và âm có cùng độ lớn sẽ cách nhau một khoảng không đổi và sẽ được gia tốc một cách tự phát
Câu đố 185 e
ra xa nhau dọc theo đường nối 2 vật. Bạn nên nhớ rằng năng lượng và động lượng đều được bảo toàn trong tất cả các trường hợp này.* Người ta chưa bao giờ quan sát được

* Nếu tò mò bạn có thể xem quyển R. H. Price, *Negative mass can be positively amusing*, American Journal of Physics **61**, pp. 216–217, 1993. Hạt có khối lượng âm trong hộp sẽ làm nóng hộp làm bằng chất có khối
Trang 111
lượng dương khi đi xuyên qua vách hộp và đồng thời có gia tốc tức là mất năng lượng. Chúng sẽ cho phép
Câu đố 186 e
ta chế tạo một *động cơ vĩnh cửu* loại 2, tức là một thiết bị không theo nguyên lý 2 Nhiệt động lực học. Hơn nữa một hệ như vậy sẽ không cân bằng nhiệt động vì năng lượng của nó sẽ giảm đi mãi mãi. Càng nghĩ

BẢNG 17 Các tính chất của khối lượng thông thường.

Khối lượng	Tính chất vật lý	Tên toán học	Định nghĩa
Có thể phân biệt được	tính phân biệt được	phần tử của một tập hợp	Quyển III, trang 283
Có thể sắp thứ tự	dãy	thứ tự	Quyển IV, trang 225
Có thể so sánh được	tính đo được	tính metric	Quyển IV, trang 236
Có thể thay đổi dần dần	tính liên tục	tính đầy đủ	Quyển V, trang 366
Có thể cộng được	lượng vật chất	cộng tính	Trang 81
Không có giới hạn	tính vô hạn	tính không giới nội, tính mở	Quyển III, trang 285
Không thay đổi	tính bảo toàn	bất biến	m = const
Không biến mất	tính bất khả xuyên thấu	dương tính	$m \geqslant 0$



HÌNH 70 Tuỳ theo cách bạn kéo, sợi chỉ trên hay sợi chỉ dưới sẽ đứt. Bạn hãy giải thích rõ hai trường hợp này

Quyển II, trang 75
Quyển IV, trang 192

các vật có khối lượng âm. Phản vật chất, mà sau này ta sẽ bàn đến, cũng có khối lượng dương.

---

nhiều về khối lượng âm, người ta càng tìm thấy nhiều tính chất kỳ lạ mâu thuẫn với quan sát. Ngoài ra

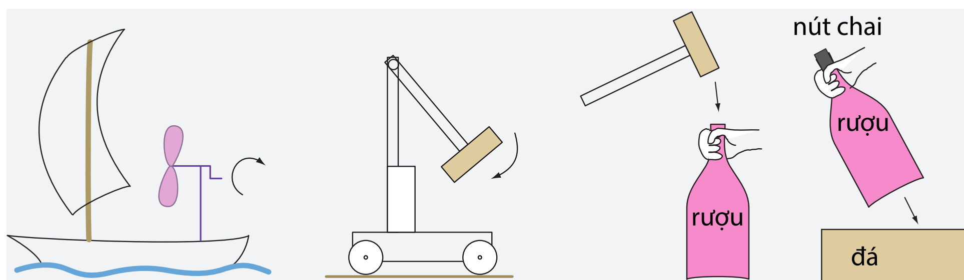
Câu đố 187 s
phạm vi khả hữu của khối lượng của tachyon là gì?

BẢNG 18 Một số cảm biến khối lượng.

Trường hợp đo	Cảm biến	Phạm vi đo
Cân chính xác	cân, con lắc hay lò xo	1 pg tới 10^3 kg
Sự va chạm giữa các hạt	tốc độ	dưới 1 mg
Xúc giác	tế bào nhạy với áp suất	1 mg tới 500 kg
Hiệu ứng Doppler dựa trên ánh sáng phản xạ từ vật	giao thoa kế	1 mg tới 100 g
Thiết bị đo khối lượng phi hành gia	tần số lò xo	khoảng 70 kg
Cân xe vận tải	cân thuỷ lực	10^3 tới $60 \cdot 10^3$ kg
Trọng lượng tàu	đo thể tích nước	lên tới $500 \cdot 10^6$ kg



HÌNH 71 Dụng cụ đo khối lượng: cân chân không do Dmitriy Ivanovich Mendeleyev sử dụng năm 1890, cân trong phòng thí nghiệm hiện đại, dụng cụ đo khối lượng phi hành gia trong không gian và cân xe tải (© Thinktank Trust, Mettler-Toledo, NASA, Anonymous).



HÌNH 72 Điều gì sẽ xảy ra trong 4 trường hợp này?

Chuyển động có vĩnh cửu không? – Sự bảo toàn động lượng

> “Mọi vật tiếp tục ở trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều cho đến khi nó không còn duy trì được điều đó.”
>
> Arthur Eddington*

Tích $\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$ của khối lượng và vận tốc được gọi là *động lượng* của hạt; nó mô tả khuynh hướng của một vật là duy trì chuyển động trong khi va chạm. Vật càng lớn thì nó càng khó ngừng. Giống như vận tốc, động lượng có hướng và độ lớn: nó là một vector. Trong tiếng Pháp động lượng được gọi là 'lượng chuyển động', một thuật ngữ thích hợp hơn. Xưa kia, thuật ngữ 'chuyển động' được sử dụng thay vì 'động lượng', như Newton đã dùng. Do đó, sự bảo toàn động lượng, hệ thức (19) biểu diễn sự bảo toàn chuyển động trong tương tác.

Câu đố 188 s

Động lượng là một *đại lượng có quảng tính*. Điều đó có nghĩa là người ta có thể nói rằng nó *chảy* từ vật này sang vật khác, và ta có thể *tích luỹ* nó trong các vật, giống như nước chảy và có thể đựng trong bình chứa. Hãy tưởng tượng cái gì đó *được trao đổi* giữa các vật lúc va chạm, rất hữu ích khi ta nghĩ đến việc mô tả chuyển động của các vật.

Xem 86

Động lượng được bảo toàn. Điều đó giải thích cho các giới hạn mà bạn có thể gặp phải khi đứng trên một mặt không có ma sát như mặt băng hay mặt cẩm thạch có phủ dầu: bạn không thể tự đẩy người về phía trước bằng cách vỗ lên lưng. (Bạn có thử đặt một con mèo lên một mặt như vậy chưa? Nó không thể đứng trên 4 chân. Con người cũng vậy. Bạn có hiểu tại sao không?) Sự bảo toàn động lượng cũng có thể dùng để trả lời cho câu đố ở Hình 72.

Câu đố 189 s

Sự bảo toàn động lượng và khối lượng cũng đồng nghĩa với việc không có sự viễn tải ('hãy truyền tôi đi') trong thiên nhiên. Bạn có thể giải thích điều này với một người không phải là nhà vật lý hay không?

Câu đố 190 s

Sự bảo toàn động lượng cũng khiến cho ta có thể tưởng tượng nó giống như *lưu chất* vô hình. Trong một tương tác, nó được truyền từ vật này sang vật khác. Khi có sự truyền dẫn như vậy, lượng lưu chất luôn không đổi.

Sự bảo toàn động lượng hàm ý chuyển động không bao giờ ngừng; nó chỉ được trao đổi. Mặt khác, chuyển động thường 'biến mất' trong môi trường, như trường hợp của hòn đá rơi xuống đất, trái banh lăn trên cỏ. Hơn nữa, trong đời sống thông thường, ta

* Arthur Eddington (1882–1944), Nhà vật lý thiên văn người Anh.

thường thấy sự phát sinh chuyển động như mỗi lần ta mở bàn tay. Các thí dụ này có phù hợp với sự bảo toàn động lượng không?

Hoá ra sự biến mất biểu kiến của động lượng bắt nguồn từ phương diện vi mô của hệ. Một bắp thịt chỉ có thể *biến đổi* một loại chuyển động, cụ thể là chuyển động của electron trong một hợp chất hoá học nào đó * thành chuyển động của các ngón tay. Hoạt động của bắp thịt tương tự như hoạt động của động cơ xe hơi biến đổi chuyển động của electron trong nhiên liệu thành chuyển động của bánh xe. Cả 2 hệ đều cần nhiên liệu và nóng lên trong quá trình đó.

Ta cũng phải nghiên cứu sự diễn biến vi mô khi trái banh lăn trên cỏ cho tới lúc nó ngừng. Sự biến mất biểu kiến của chuyển động được gọi là *ma sát*. Nghiên cứu kỹ lưỡng trường hợp này, ta thấy rằng cỏ và banh có nóng lên một chút. *Trong sự ma sát, chuyển động khả kiến được biến đổi thành nhiệt.* Sự thể hiện nổi bật của hiện tượng này đối với
Trang 383 xe đạp được thấy rõ như trong Hình 273. Sau này khi ta khám phá ra cấu trúc của vật chất, thì rõ ràng nhiệt là chuyển động hỗn loạn của các hợp phần vi mô của vật liệu. Khi tất cả các hợp phần vi mô này chuyển động theo cùng một hướng thì cả vật thể chuyển động; khi chúng dao động ngẫu nhiên, vật nóng lên nhưng đứng yên. Nhiệt là một dạng chuyển động. Như vậy ma sát chỉ hình như là sự biến mất của chuyển động; đúng ra đó là sự biến đổi từ chuyển động có trật tự thành chuyển động không trật tự.

Trang 395 Mặc dù động lượng bảo toàn, ta không thể có chuyển động vĩnh cửu *vĩ mô* vì ta không thể khử bỏ hoàn toàn ma sát. ** Chuyển động chỉ vĩnh cửu ở thang đo vĩ mô. Nói cách khác, sự biến mất và sự xuất hiện tự phát của chuyển động trong đời sống thông thường là một ảo thị do sự giới hạn của giác quan. Chuyển động của sinh vật luôn hiện hữu trước khi sinh và vẫn còn sau khi chết. Điều tương tự cũng xảy ra cho năng lượng. Kết quả này có lẽ là kết quả gần gũi nhất có thể khởi đầu cho các ý tưởng về cuộc sống trường cửu rút ra từ các bằng chứng thu thập được do quan sát. Có lẽ không phải là ngẫu nhiên khi Leibniz và nhiều người khác thường gọi năng lượng là *vis viva* hay ‘sinh lực’.

Vì chuyển động được bảo toàn nên nó không có nguồn gốc. Do đó, vào lúc này ta không thể trả lời các câu hỏi cơ bản: Tại sao có chuyển động? Nguồn gốc của nó là gì? Ta chưa đi đến cuối cuộc hành trình.

Xem 87 * Nhiên liệu của phần lớn các quá trình trong động vật thường là adenosine triphosphate (ATP).

** Một số thí dụ vui vui về các nỗ lực trong quá khứ để chế tạo *động cơ vĩnh cửu* được mô tả trong quyển Stanislav Michel, *Perpetuum mobile*, VDI Verlag, 1976. Điều thú vị là ý tưởng chuyển động vĩnh cửu đến châu Âu từ Ấn Độ, thông qua thế giới Hồi giáo, khoảng năm 1200 và trở nên phổ biến vì nó đối lập với quan điểm tiêu chuẩn lúc đó là mọi chuyển động trên Trái đất sẽ biến mất theo thời gian. Cũng nên ghé thăm các website web.archive.org/web/20040812085618/http://www.geocities.com/mercutio78_99/pmm.html và www.lhup.edu/~dsimanek/museum/unwork.htm. Những kẻ lập dị tạo ra các sai lầm về mặt nhận thức và những tên lường gạt lợi dụng nó luôn luôn có một điểm tương đồng: hy vọng vượt qua ma sát. (Đúng ra điều này chỉ áp dụng cho động cơ vĩnh cửu loại 2; động cơ vĩnh cửu loại 1 – còn mâu thuẫn với thực tế hơn nữa – cố gắng tạo ra năng lượng từ hư vô.)

Nếu động cơ được chế tạo hoàn hảo, tức là ít ma sát, nó chỉ cần một ít năng lượng để duy trì chuyển động chống lại các tác dụng tế vi của môi trường. Thí dụ như ở Viện bảo tàng Victoria và Albert ở London người ta có thể chiêm ngưỡng một cái đồng hồ tinh xảo được cung cấp năng lượng nhờ sự biến thiên áp
Xem 88 suất không khí theo thời gian.

Ma sát nhỏ đồng nghĩa với việc cần thời gian dài để làm chuyển động ngừng lại. Ta lập tức nghĩ đến
Câu đố 191 s hành tinh. Đúng ra *có* ma sát giữa Trái đất và Mặt trời. (Bạn có thể đoán ra cơ chế của nó không?) Nhưng giá trị này nhỏ tới nỗi Trái đất đã quay quanh Mặt trời hàng tỷ năm và sẽ tiếp tục trong một thời gian lâu hơn nữa.

Một đại lượng bảo toàn nữa – năng lượng

Khi nghiên cứu kỹ về các va chạm người ta gặp một đại lượng bảo toàn nữa. Thực nghiệm chứng tỏ rằng trong trường hợp va chạm hoàn hảo hay đàn hồi – va chạm không có ma sát – đại lượng sau đây, *động năng T* của hệ, cũng được bảo toàn:

$$T = \sum_i \tfrac{1}{2} m_i \boldsymbol{v}_i^2 = \sum_i \tfrac{1}{2} m_i v_i^2 = \text{const} . \qquad (21)$$

Động năng là khả năng của một vật gây ra sự thay đổi ở những vật mà nó đụng phải. Như vậy động năng phụ thuộc vào khối lượng và bình phương tốc độ v của một vật. Tên đầy đủ 'động năng' do Gustave-Gaspard Coriolis đưa ra.* Một số giá trị đo được của động năng được cho trong Bảng 19.

Những thí nghiệm và ý tưởng đã được đề cập từ trước cho đến nay có thể tóm lược bằng định nghĩa sau:

▷ *Năng lượng* vật lý là số đo khả năng tạo ra chuyển động.

Một vật có nhiều năng lượng nếu nó có khả năng làm chuyển động nhiều vật khác. Năng lượng là một số; năng lượng khác với động lượng, nó không có hướng. Động lượng toàn phần của 2 vật có khối lượng bằng nhau chuyển động với 2 vận tốc đối nhau thì bằng 0; nhưng tổng năng lượng toàn phần của chúng thì khác 0 và nó tăng lên theo vận tốc. Như vậy năng lượng cũng do chuyển động mà có nhưng theo một cách khác với động lượng. Năng lượng đo chuyển động theo một cách tổng quát hơn.

Một định nghĩa tương đương:

▷ Năng lượng là khả năng thực hiện công.

Khái niệm công vật lý ở đây đúng là phiên bản chính xác của của công trong đời sống hằng ngày. Như thường lệ *công* vật lý là tích của lực và độ dời theo hướng của lực. Nói cách khác, công là *tích vô hướng* của lực và độ dời. Công vật lý là đại lượng mô tả nỗ lực đẩy một vật trên một đoạn đường nào đó. Kết quả, công là một dạng năng lượng.

Một định nghĩa năng lượng tương đương khác sẽ được làm rõ ngay sau đây:

▷ Năng lượng là những gì có thể biến đổi thành nhiệt.

Năng lượng là chữ được lấy từ tiếng Hy Lạp cổ; thoạt tiên nó được sử dụng để mô tả một đặc tính và có nghĩa là 'sinh lực trí tuệ hay phẩm hạnh'. Thomas Young (1773–1829) đã đưa nó vào Vật lý năm 1807 vì nghĩa đen của nó là 'nội lực'. (Các chữ E, W, A và nhiều chữ khác đã được dùng để ký hiệu năng lượng.)

Cả năng lượng và động lượng đều là số đo sự thay đổi của hệ. Động lượng cho biết cách mà hệ thay đổi *theo khoảng cách*: động lượng là tác dụng (hay độ biến đổi) chia cho khoảng cách. Ta dùng động lượng để so sánh chuyển động ở các vị trí khác nhau.

* Gustave-Gaspard Coriolis (b. 1792 Paris, d. 1843 Paris) là kỹ sư và toán gia. Ông đưa ra các khái niệm hiện đại 'công' và 'động năng' và tìm hiểu về hiệu ứng Coriolis đã được Laplace khám phá. Coriolis cũng giới thiệu thừa số 1/2 trong động năng T, để hệ thức $dT/dv = p$ được nghiệm đúng. (Tại sao?)

Trang 139
Câu đố 192 s



HÌNH 73 Robert Mayer (1814–1878).

Năng lượng cho ta biết cách mà hệ thay đổi *theo thời gian*: năng lượng là tác dụng (hay độ biến đổi) chia cho thời gian. Ta dùng năng lượng để so sánh chuyển động tại các thời điểm khác nhau.

Đừng ngạc nhiên khi bạn không nắm được ngay sự khác nhau giữa động lượng và năng lượng: các vật lý gia mất khoảng 1 thế kỷ để hình dung ra điều này! Do đó bạn được quyền mất nhiều thời gian hơn để quen với nó. Thật vậy, trong nhiều thập niên, các vật lý gia Anh chỉ sử dụng 1 thuật ngữ cho cả 2 khái niệm; điều này bắt nguồn từ sự khẳng định của Newton – một cách nghiêm túc – là sự hiện hữu của chúa sẽ dẫn tới việc năng lượng và động lượng là giống nhau. Leibniz, thì ngược lại đã biết rằng năng lượng tăng theo bình phương của tốc độ nên đã chứng minh là Newton sai. Năm 1722, Willem Jacob 's Gravesande còn chứng minh được sự khác nhau giữa năng lượng và động lượng bằng
Xem 89 thực nghiệm. Ông cho các quả cầu kim loại có khối lượng khác nhau rơi xuống bùn từ các độ cao khác nhau. Bằng cách so sánh các dấu vết in trên bùn ông khẳng định rằng Newton sai trong các phát biểu vật lý lẫn thần học.

Có một cách để tìm hiểu sự khác nhau giữa năng lượng và động lượng là suy nghĩ về câu đố sau đây. Làm cho một người có khối lượng m và tốc độ v, khối lượng $m/2$ và tốc
Câu đố 193 e độ $2v$, khối lượng $m/2$ và tốc độ $\sqrt{2}v$ ngừng lại. Trường hợp nào khó hơn? Bạn có thể hỏi một người bạn chơi rugby để xác nhận câu trả lời.

Một cách phân biệt năng lượng và động lượng khác đã được minh hoạ bằng điền kinh: Kỷ lục thế giới về nhảy xa *thực* gần bằng 10 m, vẫn do một vận động viên ở đầu thế kỷ 20 nắm giữ, đã chạy với 2 tay cầm 2 vật nặng rồi ném 2 vật đó ra sau lúc anh ta nhảy
Câu đố 194 s lên. Bạn có thể giải thích được kỳ công này hay không?

Khi một xe hơi chạy với vận tốc 100 m/s đụng trực diện vào một xe đang đậu cùng
Câu đố 195 s loại thì xe nào bị thiệt hại nhiều hơn? Tình trạng có thay đổi không khi xe đứng yên khoá thắng tay?

Để có cảm nhận tốt hơn về năng lượng ta bổ sung thêm một điều nữa. Năng lượng tiêu thụ của máy móc nhân tạo (có nguồn gốc từ Mặt trời, địa nhiệt, sinh khối, gió, hạt nhân, hydro, xăng, dầu, than hay các nguồn động vật) trong năm 2000 khoảng 420 EJ,*
Xem 90 cho dân cư thế giới khoảng 6 tỷ người. Để hiểu rõ ý nghĩa của năng lượng tiêu thụ này, ta diễn dịch nó theo công suất tiêu thụ cá nhân, vào khoảng 2.2 kW. Watt W là đơn vị công suất và nó được xác định một cách đơn giản là 1 W = 1 J/s, phản ánh định nghĩa của *công suất (vật lý)* là năng lượng tiêu thụ trong 1 đơn vị thời gian. Nói chính xác là: năng lượng chảy qua một mặt kín xác định trong một đơn vị thời gian. Hãy xem Bảng 20 đối với một số công suất tìm thấy trong thiên nhiên và Bảng 21 đối với các thiết bị đo.

Trang 452 * Để hiểu rõ ký hiệu E, hãy xem Phụ lục 17.

BẢNG 19 Một số giá trị năng lượng đo được.

Trường hợp đo	Năng lượng
Động năng trung bình của phân tử oxygen trong không khí	6 zJ
Năng lượng của photon màu lục	0.37 aJ
Năng lượng của photon tia X	1 fJ
Năng lượng photon γ	1 pJ
Năng lượng hạt cao nhất trong các máy gia tốc	0.1 µJ
Động năng của muỗi đang bay	0.2 µJ
Người đi bộ thong thả	20 J
Mũi tên bay	50 J
Cú móc phải trong quyền anh	50 J
Năng lượng pin trong đèn pin	1 kJ
Năng lượng trong vụ nổ của 1 g TNT	4.1 kJ
Năng lượng của 1 kcal	4.18 kJ
Đạn súng trường đang bay	10 kJ
1 gram mỡ	38 kJ
1 gram xăng	44 kJ
Việc tiêu hoá một trái táo	0.2 MJ
Xe hơi trên xa lộ	0.3 tới 1 MJ
Năng lượng của xung laser lớn nhất	1.8 MJ
Tia sét	lên tới 1 GJ
Năng lượng Planck	2.0 GJ
Bom hạt nhân nhỏ (20 ktonne)	84 TJ
Động đất cấp 7	2 PJ
Bom hạt nhân lớn nhất (50 Mtonne)	210 PJ
Va chạm của vẫn thạch có đường kính 2 km	1 EJ
Năng lượng máy móc sử dụng mỗi năm	420 EJ
Năng lượng quay của Trái đất	$2 \cdot 10^{29}$ J
Vụ nổ của siêu tân tinh	10^{44} J
Bùng nổ tia Gamma	lên tới 10^{47} J
Năng lượng $E = c^2 m$ của khối lượng Mặt trời	$1.8 \cdot 10^{47}$ J
Năng lượng của hố đen ở tâm thiên hà	$4 \cdot 10^{53}$ J

Vì một người làm việc có thể tạo ra một công cơ học khoảng 100 W, năng lượng tiêu thụ trung bình của con người tương ứng với khoảng 22 người làm việc 24 giờ mỗi ngày. Đặc biệt, nếu ta nhìn năng lượng tiêu thụ trong các quốc gia tiên tiến trên thế giới, cư dân trung lưu có máy móc phục vụ tương đương với hàng trăm ‘nô lệ’. Máy móc tạo ra nhiều công ích. Bạn có thể chỉ ra các máy này không? Câu đố 196 s

Động năng không được bảo toàn trong đời sống thông thường. Thí dụ trong sự va chạm không đàn hồi như khi một miếng chewing gum chạm vào tường, động năng của nó bị mất đi. *Ma sát* tiêu huỷ động năng. Đồng thời, ma sát cũng tạo ra nhiệt. Năng lượng



HÌNH 74 Một số dụng cụ đo công suất: công suất kế trong xe đạp, công suất kế laser và một điện công suất kế (© SRAM, Laser Components, Wikimedia).

toàn phần được bảo toàn nếu như ta kể luôn nhiệt cũng là một dạng của năng lượng. Đó là một trong những khám phá quan trọng về mặt khái niệm trong Vật lý. Như vậy ma sát là quá trình biến đổi động năng, tức là năng lượng liên kết với chuyển động của vật thể thành nhiệt. Ở thang đo vi mô, *năng lượng luôn luôn bảo toàn*.

Mọi trường hợp năng lượng không bảo toàn chỉ có tính chất biểu kiến. * Thật vậy, nếu không có sự bảo toàn năng lượng, ta không thể định nghĩa khái niệm thời gian! Ta sẽ chứng minh điều này sau.

Tóm lại, cùng với khối lượng và động lượng, chuyển động thẳng thông thường cũng bảo toàn năng lượng. Để khám phá đại lượng bảo toàn sau cùng, ta sẽ tìm hiểu một kiểu chuyển động khác: chuyển động quay.

Tích chéo hay tích vector

Việc bàn luận về chuyển động quay sẽ dễ dàng nhất nếu ta bổ sung một phương thức để nhân các vector. Tích mới mẻ này của 2 vector $\boldsymbol{a}$ và $\boldsymbol{b}$ được gọi là *tích chéo* hay *tích vector* $\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b}$.

Kết quả của tích vector là một *vector* khác; như vậy nó khác với tích *vô hướng* mà kết quả là một số vô hướng, tức là một con số. Kết quả của tích vector là một vector

— trực giao với cả 2 vector được nhân,
— có hướng được xác định bằng *quy tắc bàn tay phải* và
— chiều dài bằng diện tích của hình bình hành tạo bởi 2 vector, tức là bằng $ab \sin \sphericalangle(\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b})$.

Định nghĩa này hàm ý rằng tích chéo = 0 nếu và chỉ nếu 2 vector song song. Từ định

* Đúng ra định luật bảo toàn năng lượng trong dạng tổng quát nhất chỉ được Julius Robert Mayer công bố năm 1842. Ông có bằng bác sĩ và tạp chí *Annalen der Physik* từ chối đăng bài của ông vì cho rằng nó chứa 'những sai lầm cơ bản'. Điều mà biên tập viên gọi là sai lầm thực ra phần lớn – nhưng không phải là duy nhất – là vì nó ngược với thành kiến của họ. Sau này, Helmholtz, Thomson-Kelvin, Joule và nhiều người khác đã phải thừa nhận thiên tài của Mayer. Tuy vậy, người đầu tiên đã phát biểu định luật bảo toàn năng lượng dưới dạng hiện đại là vật lý gia Pháp Sadi Carnot (1796–1832) năm 1820. Đối với ông thì vấn đề này hiển nhiên đến nỗi ông không công bố kết quả. Đúng ra ông vẫn tiếp tục nghiên cứu và khám phá 'định luật' 2 của Nhiệt động lực học. Ngày nay, sự bảo toàn năng lượng, còn được gọi là 'định luật' 1 của Nhiệt động lực học, là một trong những trụ cột của Vật lý vì nó đúng trong mọi lĩnh vực của Vật lý.

BẢNG 20 Một số giá trị đo được của công suất.

Trường hợp đo	Công suất
Tín hiệu vô tuyến từ tàu không gian Galileo gởi từ Mộc tinh	10 zW
Công suất của động cơ tiên mao trong vi khuẩn	0.1 pW
Công suất tiêu thụ của một tế bào điển hình	1 pW
Công suất âm ở tai tại ngưỡng nghe	2.5 pW
Laser CR-R, 780 nm	40-80 mW
Âm phát ra từ một piano đang chơi cực mạnh	0.4 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của chim bồ câu (dove) (0.16 kg)	0.97 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của chuột (0.26 kg)	1.45 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của bồ câu (pigeon) (0.30 kg)	1.55 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của gà mái (2.0 kg)	4.8 W
Công suất đèn nóng sáng phát ra	1 tới 5 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của chó (16 kg)	20 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của cừu (45 kg)	50 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của đàn bà (60 kg)	68 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của đàn ông (70 kg)	87 W
Công suất tiêu thụ điện của đèn nóng sáng	25 tới 100 W
Một người trong ca làm việc 8 tiếng	100 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của bò cái (400 kg)	266 W
Một con ngựa, trong một phiên làm việc 8 tiếng	300 W
Công suất chuyển hoá cơ bản của trâu đực (680 kg)	411 W
Eddy Merckx, vận động viên xe đạp vĩ đại, trong 1 giờ	500 W
Đơn vị mã lực metric ($75\,\mathrm{kg} \cdot 9.81\,\mathrm{m/s^2} \cdot 1\,\mathrm{m/s}$)	735.5 W
Đơn vị mã lực Anh	745.7 W
Xe môtô lớn	100 kW
Công suất phát ra của trạm phát điện	0.1 to 6 GW
Sản lượng điện của thế giới năm 2000 Xem 90	450 GW
Công suất của Địa-dynamo	200 tới 500 GW
Giới hạn của việc tạo ra phong điện Xem 91	18 tới 68 TW
Năng lượng nhận được trên mặt đất: sự chiếu xạ của Mặt trời trên Trái đất Xem 92	0.17 EW
Năng lượng nhận được trên mặt đất: nhiệt năng trong Trái đất	32 TW
Năng lượng nhận được trên mặt đất: năng lượng do thuỷ triều (tức là từ chuyển động quay của Trái đất)	3 TW
Năng lượng nhận được trên mặt đất: năng lượng do người tạo ra từ nhiên liệu hoá thạch	8 tới 11 TW
Năng lượng mất đi từ mặt đất: năng lượng tích luỹ nhờ sự quang hợp của thực vật	40 TW
Công suất kỷ lục thế giới của laser	1 PW
Công suất do mặt đất phát ra: ánh sáng Mặt trời phản xạ vào không gian	0.06 EW
Công suất do mặt đất phát ra: năng lượng phát xạ vào không gian ở 287 K	0.11 EW
Công suất cực đại của bom hạt nhân lớn nhất	5 YW
Năng lượng phát xạ của Mặt trời	384.6 YW
Công suất cực đại trong thiên nhiên, $c^5/4G$	$9.1 \cdot 10^{51}$ W

BẢNG 21 Một số cảm biến công suất.

Máy đo	Cảm biến	Phạm vi đo
Máy đo dùng nhịp tim	cảm biến sự biến dạng và đồng hồ	75 tới 2 000 W
Máy đo công suất thể dục	cảm biến áp điện	75 tới 2 000 W
Điện kế tại gia	đĩa nhôm quay	20 tới 10 000 W
Điện kế cho máy xe hơi	thẳng điện từ	lên tới 1 MW
Điện kế laser	hiệu ứng quang điện trong chất bán dẫn	lên tới 10 GW
Nhiệt năng kế dành cho phản ứng hoá học	cảm biến nhiệt độ	lên tới 1 MW
Nhiệt năng kế dành cho các hạt	máy phát hiện ánh sáng	lên tới vài µJ/ns

Câu đố 197 e nghĩa này bạn cũng có thể chứng minh rằng tích vector có các tính chất

$$\begin{aligned} &\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = -\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{a}\,, \quad \boldsymbol{a}\times(\boldsymbol{b}+\boldsymbol{c}) = \boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}+\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{c}\,,\\ &\lambda\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = \lambda(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}) = \boldsymbol{a}\times\lambda\boldsymbol{b}\,, \quad \boldsymbol{a}\times\boldsymbol{a} = \boldsymbol{0}\,,\\ &\boldsymbol{a}(\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{c}) = \boldsymbol{b}(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{a}) = \boldsymbol{c}(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})\,, \quad \boldsymbol{a}\times(\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{c}) = (\boldsymbol{ac})\boldsymbol{b}-(\boldsymbol{ab})\boldsymbol{c}\,,\\ &(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{d}) = \boldsymbol{a}(\boldsymbol{b}\times(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{d})) = (\boldsymbol{ac})(\boldsymbol{bd})-(\boldsymbol{bc})(\boldsymbol{ad})\,,\\ &(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})\times(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{d}) = ((\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})\boldsymbol{d})\boldsymbol{c}-((\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})\boldsymbol{c})\boldsymbol{d}\,,\\ &\boldsymbol{a}\times(\boldsymbol{b}\times\boldsymbol{c})+\boldsymbol{b}\times(\boldsymbol{c}\times\boldsymbol{a})+\boldsymbol{c}\times(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}) = \boldsymbol{0}\,. \end{aligned} \tag{22}$$

Tích vector chỉ có trong không gian vector 3 chiều. Ta sẽ tìm hiểu chi tiết hơn về mối liên hệ này sau đây.

Quyển IV, trang 235 Tích vector hữu ích trong việc mô tả các hệ thống *quay* – và tương tự đối với các hệ có từ lực. Chuyển động của một vật chuyển động tròn luôn luôn trực giao với trục quay và đường nối vật với trục đó. Trong chuyển động quay, trục quay, bán kính quay và vận tốc quay tạo thành một bộ quay phải các vector trực giao với nhau. Mối liên hệ này bắt nguồn từ tích vector.

Câu đố 198 e Hãy chứng tỏ rằng cách tốt nhất để tính tích vector $\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b}$ theo các thành phần là dùng định thức

$$\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = \begin{vmatrix} \boldsymbol{e}_x & a_x & b_x \\ \boldsymbol{e}_y & a_y & b_y \\ \boldsymbol{e}_z & a_z & b_z \end{vmatrix} \quad \text{hay một cách giản tiện} \quad \boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = \begin{vmatrix} + & - & + \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}\,. \tag{23}$$

Ký hiệu định thức này dễ nhớ và dễ thực hiện, kể cả bằng chữ lẫn bằng số. (Ở đây, $\boldsymbol{e}_x$ là vector đơn vị theo hướng x.) Nếu viết rõ ra thì định thức tương đương với hệ thức

$$\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b} = (a_y b_z - b_y a_z, b_x a_z - a_x b_z, a_x b_y - b_x a_y) \tag{24}$$

khó nhớ hơn.

Câu đố 199 e Hãy chứng tỏ rằng *hình hộp* tạo bởi 3 vector bất kỳ $\boldsymbol{a}$, $\boldsymbol{b}$ và $\boldsymbol{c}$ có thể tích $V = \boldsymbol{c}\,(\boldsymbol{a}\times\boldsymbol{b})$.

BẢNG 22 Một số tần số quay đo được.

Trường hợp đo	Vận tốc góc $\omega = 2\pi/T$
Chuyển động quay của thiên hà	$2\pi \cdot 0.14 \cdot 10^{-15}/\text{s}$ $= 2\pi/(220 \cdot 10^{6}\,\text{a})$
Chuyển động quay của Mặt trời quanh trục của nó	$2\pi \cdot 3.8 \cdot 10^{-7}/\text{s} = 2\pi/30\,\text{d}$
Hải đăng	$2\pi \cdot 0.08/\text{s}$
Vũ công ballet quay trên đầu ngón chân	$2\pi \cdot 3/\text{s}$
Máy diesel của tàu thuỷ	$2\pi \cdot 5/\text{s}$
Rotor của máy bay trực thăng	$2\pi \cdot 5.3/\text{s}$
Máy giặt	lên tới $2\pi \cdot 20/\text{s}$
Tiên mao vi khuẩn	$2\pi \cdot 100/\text{s}$
Máy ghi CD nhanh	lên tới $2\pi \cdot 458/\text{s}$
Máy xe đua	lên tới $2\pi \cdot 600/\text{s}$
Turbine nhanh nhất	$2\pi \cdot 10^{3}/\text{s}$
Pulsar (ngôi sao quay)	lên tới ít nhất $2\pi \cdot 716/\text{s}$
Máy siêu ly tâm	$> 2\pi \cdot 3 \cdot 10^{3}/\text{s}$
Máy khoan răng	lên tới $2\pi \cdot 13 \cdot 10^{3}/\text{s}$
Kỷ lục trong kỹ thuật	$2\pi \cdot 333 \cdot 10^{3}/\text{s}$
Proton quay	$2\pi \cdot 10^{20}/\text{s}$
Vận tốc góc Planck lớn nhất	$2\pi \cdot 10^{35}/\text{s}$

Câu đố 200 e Hãy chứng tỏ rằng *kim tự tháp* hay *tứ diện* được tạo ra bằng các vector đó có thể tích bằng 1/6 thể tích hình hộp.

Chuyển động quay và moment động lượng

Chuyển động quay giúp cho chúng ta sống. Không có sự thay đổi ngày và đêm ta sẽ bị quay chín hay bị đông cứng khó mà tồn tại, tuỳ theo vị trí của ta trên Trái đất. Nhưng chuyển động quay có nhiều hình thức như ta thấy trong Bảng 22.

Mọi vật đều có khả năng quay. Trước kia ta đã biết rằng một vật được mô tả bằng tính chống lại chuyển động của nó mà ta gọi là khối lượng; tương tự như vậy, một vật cũng có tính chống lại chuyển động quay. Đại lượng này được gọi là *moment quán tính* thường được ký hiệu là Θ – đọc là 'theta'. Tốc độ hay vận tốc quay được mô tả bằng *vận tốc góc*, thường được viết tắt là ω – đọc là 'omega'. Một số giá trị tìm thấy trong thiên nhiên được cho trong Bảng 22.

Các biến động lực mô tả chuyển động quay cũng tương tự các biến mô tả chuyển động thẳng, như ta thấy trong Bảng 24. Giống như khối lượng, moment quán tính được định nghĩa sao cho tổng *moment động lượng L* – tích của moment quán tính và vận tốc góc – được bảo toàn trong các hệ không có tương tác với thế giới bên ngoài:

$$\sum_i \Theta_i \boldsymbol{\omega}_i = \sum_i \boldsymbol{L}_i = \text{const} . \qquad (25)$$

BẢNG 23 Một số giá trị đo được của moment động lượng.

Trường hợp đo	Moment động lượng
Giá trị nhỏ nhất quan sát được trong thiên nhiên, $\hbar/2$, trong các hạt vật chất sơ cấp (fermion)	$0.53 \cdot 10^{-34}$ Js
Con quay đang quay	$5 \cdot 10^{-6}$ Js
CD (compact disc) đang chạy	*c.* 0.029 Js
Người đi bộ (quanh trục cơ thể)	*c.* 4 Js
Vũ công quay trên đầu ngón chân	5 Js
Bánh xe hơi ở tốc độ 30 m/s	10 Js
Máy phát phong điện ở tốc độ 12 m/s (6 Beaufort)	10^{4} Js
Khí quyển Trái đất	1 tới $2 \cdot 10^{26}$ Js
Đại dương	$5 \cdot 10^{24}$ Js
Trái đất đối với trục quay của nó	$7.1 \cdot 10^{33}$ Js
Mặt trăng đi quanh Trái đất	$2.9 \cdot 10^{34}$ Js
Trái đất đi quanh Mặt trời	$2.7 \cdot 10^{40}$ Js
Mặt trời đối với trục quay của nó	$1.1 \cdot 10^{42}$ Js
Mộc tinh đi quanh Mặt trời	$1.9 \cdot 10^{43}$ Js
Thái dương hệ quanh Mặt trời	$3.2 \cdot 10^{43}$ Js
Ngân hà	10^{68} Js
Mọi khối lượng trong vũ trụ	0 (trong phạm vi sai số của phép đo)

Giống như sự bảo toàn động lượng xác định khối lượng, sự bảo toàn moment động lượng xác định moment quán tính. Moment động lượng là khái niệm do Leonhard Euler và Daniel Bernoulli đưa ra trong các thập niên 1730 và 1740.

Moment quán tính có liên hệ với khối lượng và hình dạng của một vật. Nếu vật được tưởng tượng là bao gồm các phần nhỏ hay các nguyên tố khối lượng, biểu thức của nó sẽ là

$$\Theta = \sum_n m_n r_n^2 , \tag{26}$$

trong đó r_n là khoảng cách từ khối lượng m_n tới trục quay. Bạn có thể chứng minh biểu
Câu đố 201 e thức này không? Từ đó moment quán tính của một vật tuỳ thuộc vào việc chọn trục
Câu đố 202 s quay. Bạn có thể chứng minh điều này đối với một viên gạch hay không?

Khác với khối lượng, moment quán tính *không* bảo toàn. Đúng ra giá trị của moment quán tính phụ thuộc vào hướng và vị trí của trục quay dùng để định nghĩa nó. Đối với mỗi hướng của trục quay, ta phân biệt moment quán tính *trong*, khi trục đi qua khối tâm của vật, với moment quán tính *ngoài*, cho trường hợp khác.* Tương tự như vậy ta cũng

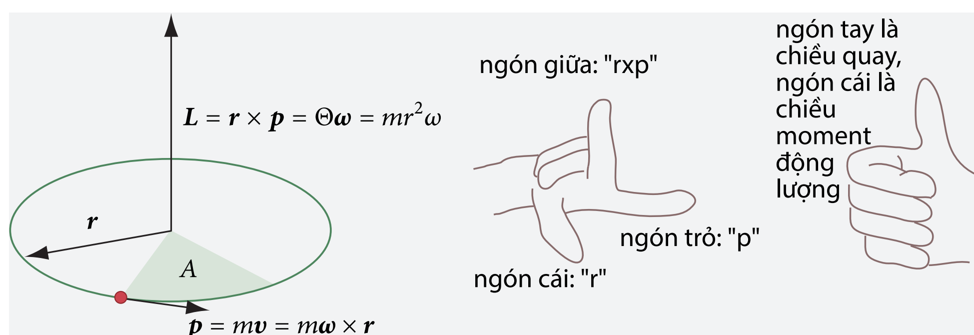
* Hai moment quán tính ngoài và trong liên hệ với nhau theo biểu thức

$$\Theta_{ext} = \Theta_{int} + md^2 , \tag{27}$$

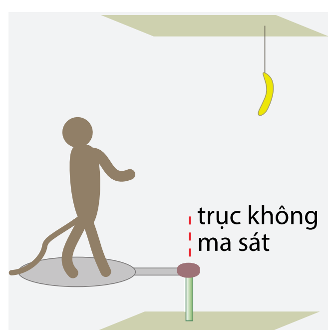
trong đó d là khoảng giữa khối tâm và trục quay ngoài. Đây là *định lý trục song song của Steiner*. Bạn có thể
Câu đố 203 s chứng minh được nó không?

BẢNG 24 Sự tương ứng giữa chuyển động thẳng và chuyển động quay.

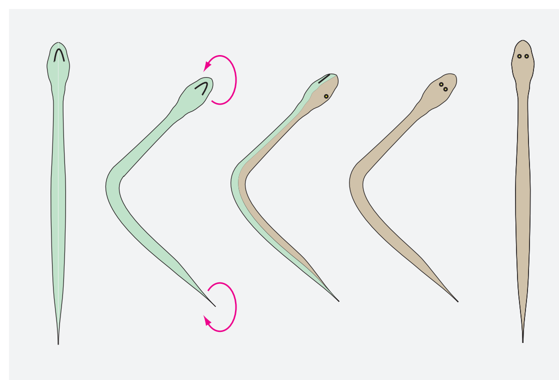
Đại lượng	Chuyển động thẳng		Chuyển động quay	
Trạng thái	thời gian	t	thời gian	t
	vị trí	$\boldsymbol{x}$	góc	$\boldsymbol{\varphi}$
	động lượng	$\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$	moment động lượng	$\boldsymbol{L} = \Theta\boldsymbol{\omega}$
	năng lượng	$mv^2/2$	năng lượng	$\Theta\omega^2/2$
Chuyển động	vận tốc	$\boldsymbol{v}$	vận tốc góc	$\boldsymbol{\omega}$
	gia tốc	$\boldsymbol{a}$	gia tốc góc	$\boldsymbol{\alpha}$
Tính chống lại chuyển động	khối lượng	m	moment quán tính	Θ
Làm thay đổi chuyển động	lực	$m\boldsymbol{a}$	moment lực	$\Theta\boldsymbol{\alpha}$



HÌNH 75 Moment động lượng và các đại lượng khác đối với chất điểm trong chuyển động tròn và 2 phiên bản của quy tắc bàn tay phải.



HÌNH 76 Con khỉ có thể với tới trái chuối hay không?



HÌNH 77 Con rắn quay quanh trục của nó như thế nào?.

phân biệt moment động lượng trong và ngoài. (Ngoài ra, *khối tâm* của 1 vật là một điểm ảo chuyển động thẳng trong khi vật rơi thẳng đứng, mặc dù vật có thể đang quay. Bạn có thể tìm ra cách xác định vị trí của khối tâm đối với một vật đặc biệt không?) Câu đố 204 s

Bây giờ ta có thể định nghĩa *năng lượng quay* là

$$E_{\text{rot}} = \tfrac{1}{2}\,\Theta\,\omega^2 = \frac{L^2}{2\Theta}\,. \qquad (28)$$

Biểu thức này tương tự biểu thức động năng của 1 hạt. Đối với vật quay có hình dạng cố định, năng lượng quay được bảo toàn.

Bạn có thể đoán được năng lượng quay của Trái đất lớn hơn điện năng do con người Câu đố 205 s sử dụng trong 1 năm bao nhiêu lần không? Đúng ra nếu bạn tìm được phương thức khai thác năng lượng quay của Trái đất, bạn sẽ trở nên nổi tiếng.

Câu đố 206 s Mọi vật có hướng đều có moment động lượng riêng. (Hình cầu thì sao?) Do đó *chất điểm không có* moment động lượng riêng – ít nhất là trong Vật lý cổ điển. (Phát biểu này sẽ thay đổi trong Thuyết lượng tử). Moment động lượng *ngoài* $\boldsymbol{L}$ của chất điểm được định nghĩa là

$$\boldsymbol{L} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{p} \qquad (29)$$

trong đó $\boldsymbol{p}$ là động lượng của hạt và $\boldsymbol{r}$ là vector vị trí. Như vậy moment động lượng hướng dọc theo trục quay, theo quy tắc bàn tay phải, như ta thấy trong Hình 75. Một số giá trị quan sát được trong thiên nhiên được cho trong Bảng 23.

Định nghĩa này hàm ý rằng moment động lượng cũng có thể xác định bằng cách sử Câu đố 207 e dụng biểu thức

$$L = \frac{2A(t)m}{t}\,, \qquad (30)$$

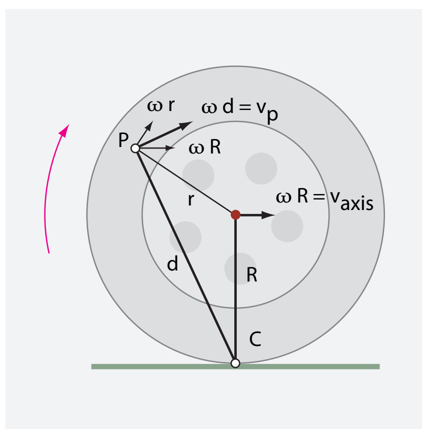
trong đó $A(t)$ là diện tích do vector vị trí $\boldsymbol{r}$ của hạt *quét được* trong thời gian t. Nhờ xác định diện tích quét với sự trợ giúp của kính thiên văn, Johannes Kepler vào năm 1609 đã khám phá ra rằng mọi hành tinh quay quanh Mặt trời đều có moment động lượng *không đổi* theo thời gian.

Một vật có thể đồng thời quay quanh *nhiều trục*. Đoạn film của Hình 108 cho ta 1 thí Trang 149 dụ: con quay quay quanh trục của nó, đồng thời quay quanh trục thẳng đứng. Nghiên cứu chi tiết chứng tỏ rằng chuyển động quay chính xác của con quay được xác định bằng Câu đố 208 e *tổng vector* của 2 chuyển động quay này. Để thấy điều này ta 'đông cứng' các trục quay Trang 163 tại một thời điểm xác định. Như vậy các chuyển động quay là một loại vector.

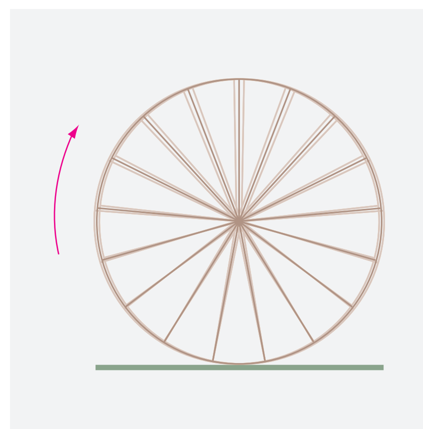
Giống như trong trường hợp của chuyển động thẳng, năng lượng quay và moment động lượng không luôn luôn bảo toàn trong thế giới vĩ mô: năng lượng quay có thể thay đổi do ma sát và moment động lượng có thể thay đổi do ngoại lực (moment lực). Nhưng đối với các hệ *đóng* (không bị nhiễu loạn), cả 2 đại lượng này luôn luôn bảo toàn. Đặc biệt, ở thang đo vi mô, phần lớn các vật không bị nhiễu loạn nên năng lượng quay và moment động lượng luôn bảo toàn.

Moment động lượng được bảo toàn. Phát biểu này đúng đối với mọi trục quay của một hệ vật lý, *miễn là* không có tác động của ngoại lực (moment lực). Để làm rõ vấn đề, Xem 2 Jean-Marc Lévy-Leblond đã đặt ra bài toán trong Hình 76. Con khỉ có thể với tới trái chuối mà không rời khỏi cái sàn hay không, khi ta giả sử rằng sàn có thể quay quanh Câu đố 209 s trục không có ma sát?

Ta cũng nên nhớ rằng tác dụng của chuyển động quay cũng giống như tác dụng của gia tốc: cả gia tốc và chuyển động quay của xe đều đẩy ta vào ghế ngồi. Do đó nhiều cảm



HÌNH 78 Vận tốc và các vector đơn vị đối với một bánh xe lăn.



HÌNH 79 Một hình ảnh mô phỏng của bánh xe lăn với các nan hoa.

Trang 86
Trang 142

biến quay cũng giống các cảm biến gia tốc mà ta đã tìm hiểu ở trên. Nhưng có một số cảm biến quay về cơ bản là mới. Đặc biệt, ta sẽ gặp con quay hồi chuyển ngay sau đây.

Trên bề mặt không ma sát, như mặt băng trơn nhẵn hay sàn cẩm thạch phủ một lớp dầu, ta không thể chuyển động về phía trước. Để chuyển động ta cần đẩy *vào* một vật nào đó. Điều này có đúng trong trường hợp chuyển động quay không?

Điều đáng ngạc nhiên là ta có thể quay mà *không cần* đẩy vào vật nào cả. Bạn có thể kiểm tra điều này trên một cái ghế văn phòng quay trơn tru: chỉ đơn giản quay một cánh tay trên đầu. Sau mỗi vòng quay của bàn tay, hướng của ghế sẽ đổi đi một chút. Thật vậy, sự bảo toàn moment động lượng và năng lượng quay *không* giữ cho vật không thay đổi hướng. Mèo học được điều này từ nhỏ. Sau khi đã học được kỹ thuật này, nếu ta buông mèo xuống đất với chân hướng lên, chúng luôn luôn tự xoay người để đáp xuống đất bằng chân. Rắn cũng biết cách quay người, như Hình 77 cho thấy. Người cũng có khả năng này: trong Thế vận hội bạn có thể thấy vận động viên nhảy cầu và vận động viên thể dục thực hiện các kỹ thuật tương tự. Như vậy chuyển động quay khác chuyển động tĩnh tiến về phương diện này. (Tại sao?)

Xem 93
Câu đố 210 d

Bánh xe lăn

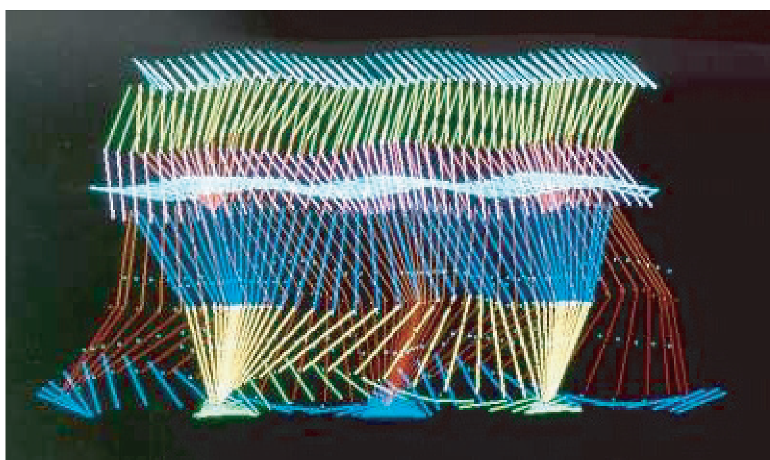
Chuyển động quay là một hiện tượng có nhiều điều thú vị. Một bánh xe lăn *không* quay quanh trục của nó mà quay quanh điểm tiếp xúc.

Một bánh xe bán kính R *đang lăn* nếu giữa tốc độ của trục quay v_{axis} và vận tốc góc ω có hệ thức

$$\omega = \frac{v_{\text{axis}}}{R} . \tag{31}$$

Đối với điểm P bất kỳ trên bánh xe, cách trục quay một đoạn r, vận tốc v_{P} là tổng vận tốc chuyển động của trục quay và chuyển động quanh trục quay. Hình 78 chứng tỏ rằng v_{P} vuông góc với d, là khoảng cách giữa P và điểm tiếp xúc của bánh xe với mặt đường. Hình vẽ cũng cho thấy tỷ số chiều dài giữa v_{P} và d thì giống như tỷ số giữa v_{axis} và R.

Câu đố 211 e



HÌNH 80 Chuyển động của một người đi bộ được ghi lại (© Ray McCoy).

Kết quả là ta có thể viết

$$v_P = \omega \times d \,, \tag{32}$$

chứng tỏ rằng bánh xe lăn thực sự quay quanh điểm tiếp xúc giữa nó với mặt đường.

Điều đáng ngạc nhiên là khi bánh xe lăn, một số điểm trên nó chuyển động *hướng về phía* trục của bánh xe, một số cách trục một khoảng *cố định* và một số chuyển động *ra xa* trục. Bạn có thể xác định vị trí của các điểm này không? Các điểm này sẽ cho ta một hình ảnh thú vị khi bánh xe lăn có nan hoa, như bánh xe đạp, được chụp ảnh, như ta thấy trong Hình 79.

Câu đố 212 s

Xem 94

Xem 95

Với những kết quả này bạn có thể giải quyết câu đố rắc rối sau đây. Khi một bánh xe quay nảy trên mặt đường, nó sẽ trượt một lúc, rồi vừa lăn vừa trượt và sau cùng chỉ lăn đi. Tốc độ sau cùng phụ thuộc vào tốc độ ban đầu và ma sát như thế nào?

Câu đố 213 d

Chúng ta đi bộ và chạy như thế nào?

> “Golf là một cuộc đi dạo đẹp bị phá hỏng.”
> The Allens

Tại sao ta vung tay khi đi hay chạy bộ? Để tiết kiệm năng lượng hay để tăng phần duyên dáng? Đúng ra khi một chuyển động của cơ thể được thực hiện với năng lượng sử dụng được giảm thiểu, nó vừa tự nhiên vừa duyên dáng. Thật ra sự tương ứng này có thể lấy làm định nghĩa cho sự duyên dáng. Đây là kiến thức phổ biến trong thế giới khiêu vũ; nó cũng là tính chất quan trọng của các phương pháp mà diễn viên sử dụng để học cách chuyển động cơ thể sao cho đẹp mắt.

Xem 20

Để có thể tin vào điều kiện tiết kiệm năng lượng bạn hãy thử chạy mà không vung tay hay vung ngược với cách thông thường: bạn phải nỗ lực hơn rất nhiều. Đúng ra khi chân chuyển động, nó tạo ra một moment lực quanh trục của cơ thể mà ta phải cân bằng. Phương pháp dùng ít năng lượng nhất là vung cánh tay, như đã được vẽ lại trong Hình 80. Vì cánh tay nhẹ hơn chân, chúng phải chuyển động xa trục quay hơn để có thể bù trừ cho phần động lượng; do đó sự tiến hoá phải dời nơi gắn đôi tay, tức là đôi vai, xa hơn nơi gắn đôi chân, tức là hông. Động vật có 2 chân nhưng không có tay như

chim cánh cụt hay bồ câu, sẽ đi lại khó khăn hơn; chúng phải di chuyển cả thân mình khi bước đi.

Xem 96 Thí nghiệm đã chứng tỏ rằng mọi động vật đi bộ đều có vận tốc

$$v_{\text{max walking}} = (2.2 \pm 0.2\,\text{m/s})\,\sqrt{l/\text{m}}\,. \qquad (33)$$

Thật vậy, đi bộ, sự chuyển động lần lượt của 2 chân, có thể được mô tả là một sự tổng hợp của các dao động của con lắc (đảo ngược). Chiều dài con lắc là chiều dài chân l. Thang đo thời gian của con lắc là $t \sim \sqrt{l/g}$. Tốc độ đi bộ cực đại trở thành $v \sim l/t \sim \sqrt{gl}$, một thừa số không đổi, là kết quả đã đo được.

Bắp thịt nào hoạt động nhiều nhất khi ta đi bộ, chuyển động mà chuyên gia gọi là *dáng đi*? Xem 97 Năm 1980, Serge Gracovetsky đã nhận thấy rằng trong khi đi bộ, phần lớn năng lượng lấy từ các bắp thịt dọc theo *xương sống* chứ không phải từ chân. (Thật vậy, người không chân vẫn có thể đi bộ được. Tuy vậy, nhiều bắp thịt của chân phải hoạt động để ta đi bộ một cách bình thường.) Khi bạn bước đi, các bắp thịt thắt lưng giữ cho xương sống được thẳng; điều này khiến cho xương sống tự động quay đi một chút, sao cho đầu gối của chân ở phía đó tự động tiến lên phía trước. Khi bàn chân di chuyển, bắp thịt lưng thư giãn và rồi lại hoạt động cho bước kế tiếp. Thật ra người ta có thể cảm nhận sự gia Câu đố 214 e tăng sức căng của các bắp thịt *lưng* khi đi bộ mà không chuyển động cánh tay, từ đó xác nhận được vị trí của *động cơ xương sống* trong người.

Chân người khác với chân khỉ ở một phương diện cơ bản: người có thể *chạy*. Đúng ra toàn thân người đã được tối ưu hoá cho việc chạy, một khả năng mà không có động vật linh trưởng nào có được. Thân người đã rụng bớt lông để được làm mát tốt hơn, đã phát triển được khả năng chạy trong khi vẫn giữ được đầu ổn định, tay đã phát triển đến chiều dài thích hợp cho việc giữ cân bằng khi chạy và có cả các dây chằng đặc biệt ở lưng hoạt động như một hệ giảm xóc trong khi chạy. Nói cách khác, chạy là một dạng chuyển động có nhân tính nhất trong các dạng chuyển động.

Các câu đố vui và lạ về khối lượng, sự bảo toàn và chuyển động quay

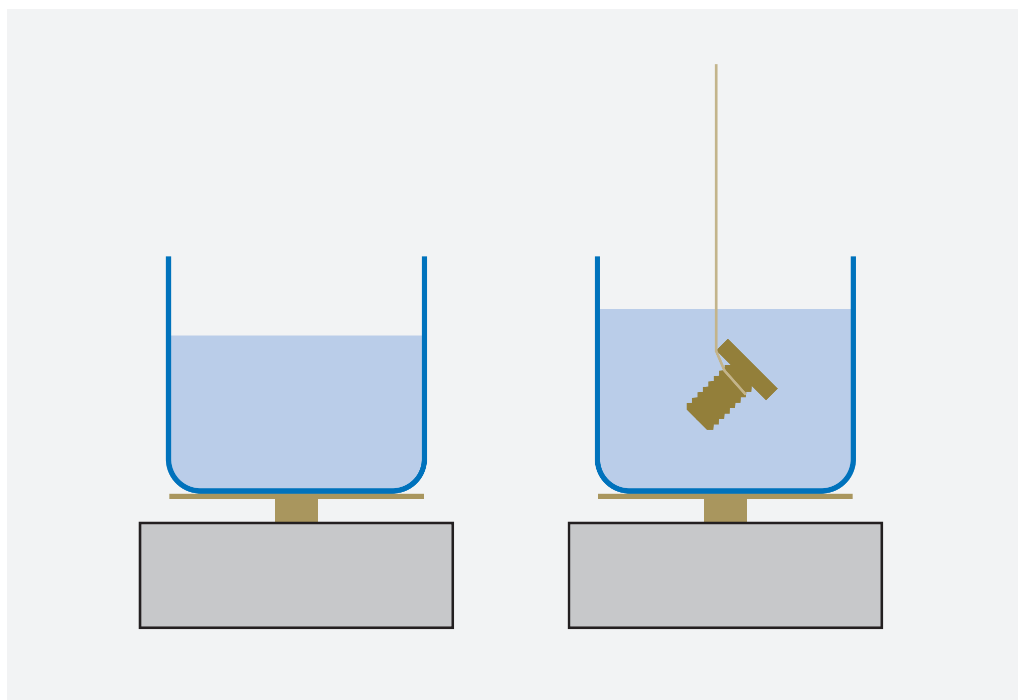
> “Việc ném đi một viên sỏi làm thay đổi khối tâm của vũ trụ là một sự kiện toán học.”
> Thomas Carlyle,* *Sartor Resartus III.*

Một ly nước được đặt trên một cái cân như trong Hình 81. Số đo khối lượng sẽ thay đổi như thế nào nếu bạn nhúng một miếng kim loại treo trên đầu một sợi dây vào trong Câu đố 216 e nước?

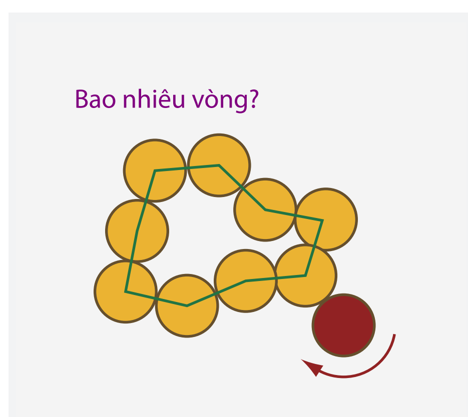
* *

Lấy 10 đồng tiền cùng mệnh giá. Đặt 9 đồng lên bàn tạo thành một vòng kín theo ý bạn, thí dụ như trong Hình 82. (Chín đồng trông như một chuỗi hạt trai với mỗi đồng là 1 hạt trai.) Lấy đồng thứ 10 và cho nó quay không trượt quanh vòng kín. Đồng này sẽ quay Câu đố 217 e được bao nhiêu vòng khi nó đi quanh được 1 vòng?

Câu đố 215 s * Thomas Carlyle (1797–1881), nhà văn Tô Cách Lan. Bạn có đồng ý với câu trích dẫn này không?



HÌNH 81 Giá trị khối lượng hiển thị sẽ thay đổi như thế nào khi một vật treo được nhúng vào nước?



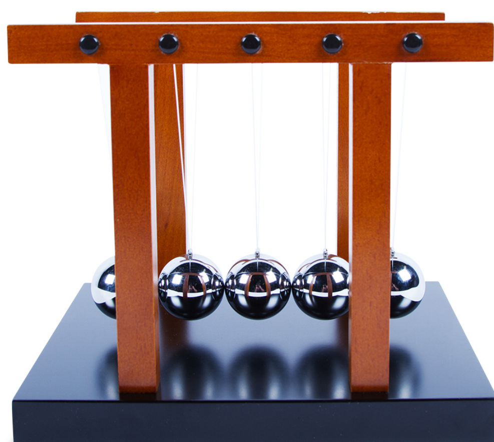
HÌNH 82 Đồng tiền thứ 10 quay được bao nhiêu vòng khi nó đi quanh được 1 vòng?

* *

Ta có thể nghiên cứu tường tận về sự bảo toàn động lượng bằng cách chơi và tìm hiểu môn billiard, snooker hay pool. Hay nhất là các film về các 'tuyệt chiêu' mà bạn có thể tìm được trên Internet. Bạn có thể dùng sự bảo toàn động lượng để tìm ra cách phát triển khả năng chơi billiard của bạn không?

Câu đố 218 e

Có một cách khác để tìm hiểu về sự bảo toàn động lượng là dùng chuỗi banh hay các con lắc va chạm, được Edme Mariotte phát minh. Nhiều thập niên sau đó, Newton



HÌNH 83 Chuỗi banh hay giá banh do Mariotte phát minh giúp ta tìm hiểu sự bảo toàn động lượng, năng lượng và các khó khăn trong việc chế tạo các vật chính xác (© www.questacon.edu.au).

tuyên bố đó là của mình, như ông đã thường nói về các kết quả của người khác. Dùng đồ chơi đã vui – giải thích hiện tượng còn vui hơn. Thật vậy, nếu bạn kéo và thả 3 trái banh cùng 1 phía, bạn sẽ thấy 3 trái banh tách ra ở phía bên kia; để giải thích hiện tượng này nếu chỉ dùng định luật bảo toàn động lượng và năng lượng thì *không đủ*, và bạn có
Câu đố 219 d thể tự tìm ra lý do. Bạn có thể chế tạo chuỗi banh có độ chính xác cao không?

* *

Có một cách nổi tiếng để quan sát 81 lần Mặt trời mọc chỉ trong 80 ngày. Bằng cách nào?
Câu đố 220 s

* *

Đi bộ là nguồn của nhiều bài toán vật lý. Khi leo núi, cách hiệu quả nhất không phải
Xem 98 luôn luôn là đi theo sườn dốc nhất; thật vậy, đối với các sườn dốc, đi theo lối zig-zag có hiệu quả về mặt năng lượng hơn. Tại sao? Và bạn có thể ước tính góc nghiêng để đạt
Câu đố 221 s được điều này không?

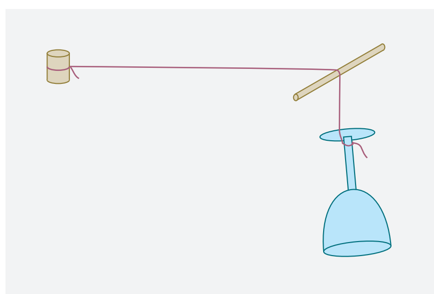
* *

Asterix và các bạn trong một bộ truyện tranh vui nhộn, chỉ sợ một điều: trời sập. Bầu
Câu đố 222 e trời là vật thể hay hình ảnh?

* *

Cái chết là một quá trình vật lý nên có thể tìm hiểu được. Nhìn chung, động vật có một *tuổi thọ* T tỷ lệ với căn bậc 4 của khối lượng M của chúng. Nói cách khác, $T = M^{1/4}$. Điều này đúng cho mọi vật từ vi khuẩn, côn trùng cho tới cá voi xanh. Động vật cũng có một *tốc độ chuyển hoá* tức là công suất tiêu thụ / khối lượng, tỷ lệ *nghịch* với căn bậc 4. Ta có thể kết luận rằng cái chết xảy ra đối với mọi động vật khi tốc độ chuyển hoá đạt tới một mức cố định nào đó. Điều này thực sự đúng như vậy; cái chết xảy ra khi động
Xem 99 vật đã tiêu thụ khoảng 1 GJ/kg. (Nhưng đối với người thì chậm hơn một chút.) Kết quả kỳ lạ này, tính trung bình, đúng với mọi động vật.

Bạn nên nhớ rằng lập luận này chỉ có giá trị khi ta so sánh các loài *khác nhau*. Sự phụ



HÌNH 84 Khi ta buông cái nút chai ra thì có an toàn không?

thuộc vào khối lượng sẽ *không còn* đúng khi ta so sánh các mẫu của cùng một loài. (Bạn không thể sống lâu hơn bằng cách ăn ít hơn.) Tóm lại, động vật sẽ qua đời sau khi chúng chuyển hoá được 1 GJ/kg. Nói cách khác, một khi chúng ta ăn đủ số calorie đã định ta sẽ phải từ giã cõi đời.

* *

Một chiếc xe hơi sử dụng 7 lít xăng cho 100 km. Ma sát lăn cùng với ma sát do không
Câu đố 223 s khí là bao nhiêu? (Giả sử động cơ có hiệu suất 25 %.)

* *

Một nút chai được cột vào một sợi dây mảnh dài 1 m. Dây được vắt qua một thanh dài nằm ngang và một ly uống rượu được cột ở đầu dây kia. Nếu bạn buông cái nút chai
Câu đố 224 s trong Hình 84, không có gì bị bể. Tại sao? Chính xác thì điều gì sẽ xảy ra?

* *

Năm 1907, Duncan MacDougalls, một bác sĩ y khoa, đo khối lượng của người sắp chết,
Xem 100 với hy vọng là sẽ biết được cái chết có khiến cho khối lượng thay đổi hay không. Ông thấy rằng khối lượng người đột ngột giảm đi từ 10 tới 20 g lúc mất. Ông cho rằng đó là khối lượng của linh hồn thoát ra khỏi cơ thể. Bạn có thể tìm ra cách giải thích nào tốt
Câu đố 225 s hơn không?

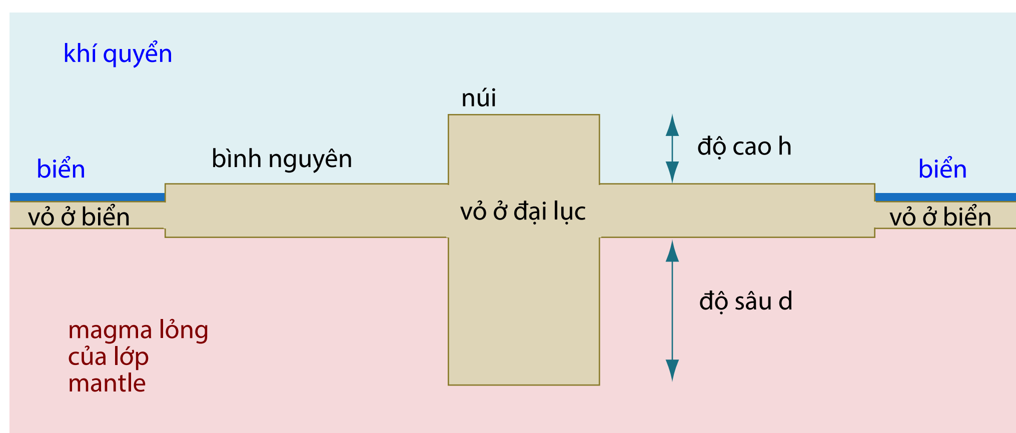
* *

Ta đã biết rằng khối lượng của trẻ 1 tuổi tuỳ thuộc vào nó muốn được bế lên hay nó muốn
Câu đố 226 e bước xuống sàn nhà. Điều này có mâu thuẫn với sự bảo toàn khối lượng hay không?

* *

Vỏ Trái đất có mật độ (2.7 kg/l) nhỏ hơn mật độ của lớp mantle (3.1 kg/l) và nổi trên lớp này. Kết quả là lớp vỏ nhẹ hơn bên dưới các rặng núi phải ở sâu hơn bình nguyên. Nếu
Câu đố 227 s núi cao hơn bình nguyên 1 km thì lớp vỏ bên dưới nó phải ở sâu hơn bao nhiêu? Mô hình khối đơn giản được trình bày trong Hình 85 khá phù hợp với thực tế; trước tiên, nó giải thích được là khi ở gần núi, độ chệch hướng rơi tự do so với phương thẳng đứng nhỏ hơn giá trị khi không có lớp vỏ dưới sâu. Kế đó, các phép đo âm học đã khẳng định rằng lớp vỏ lục địa dưới các rặng núi thực sự dày hơn.

* *



HÌNH 85 Một mô hình đơn giản của lục địa và núi non.

Câu đố 228 e

Mọi hình trụ thuần nhất đều lăn xuống mặt phẳng nghiêng theo một cách như nhau. Đúng hay sai? Còn hình cầu thì sao? Bạn có thể chứng minh rằng hình cầu lăn xuống nhanh hơn hình trụ không?

* *

Câu đố 229 s

Vật nào lăn xuống nhanh hơn: một lon soda đầy chất lỏng hay lon đầy nước đá? (Và bạn làm lon đầy nước đá bằng cách nào?)

* *

Câu đố 230 e

Lấy 2 lon có cùng kích thước và khối lượng, một đầy bánh ravioli, một đầy hạt đậu. Lon nào lăn xuống mặt phẳng nghiêng nhanh hơn?

* *

Sự khác nhau giữa vật chất và hình ảnh: vật chất có mùi. Đúng ra mũi là một cảm biến vật chất. Lưỡi và vị giác cũng vậy.

* *

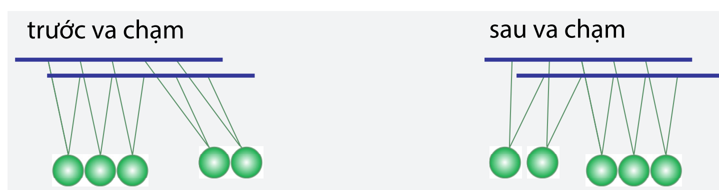
Câu đố 231 e

Có một chồng đồng xu. Bạn có thể đẩy 1 đồng xu ở dưới đáy ra ngoài, các đồng xu khác vẫn nằm trên mặt bàn. Phương pháp này giúp ta hình dung được sự bảo toàn động lượng 2 chiều.

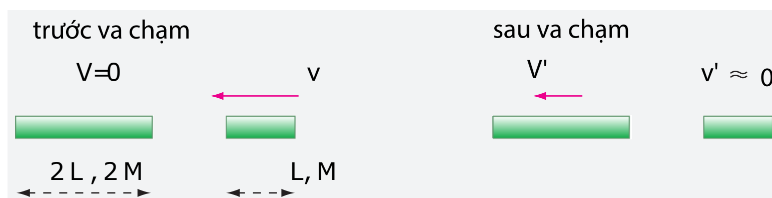
* *

Xem 101

Vào đầu năm 2004, 2 người đàn ông và 1 người đàn bà kiếm được 1.2 triệu bảng Anh chỉ trong một buổi tối ở sòng bạc London. Họ làm được điều đó nhờ áp dụng công thức của Cơ học Galilei. Họ sử dụng phương pháp đã được các nhà vật lý tiên phong sử dụng trong thập niên 1950. Các nhà vật lý này đã chế tạo các máy tính nhỏ có thể tiên đoán kết quả của bi roulette từ vận tốc ban đầu mà người hồ lì truyền cho quả bi. Ở Anh, nhóm con bạc đã thêm một máy quét laser vào 1 smart phone để đo đường đi của bi roulette và tiên đoán số mà bi sẽ đáp vào. Bằng cách này, họ đã tăng tỷ lệ thắng cược từ 1/37 lên 1/6. Sau 6 tháng điều tra, Scotland Yard xử cho họ được giữ lại số tiền thắng cuộc.



HÌNH 86 Một món đồ chơi nổi tiếng



HÌNH 87 Va chạm đàn hồi hình như không tuân theo sự bảo toàn năng lượng

Đúng ra trong khoảng thời gian đó, ở Đức có vài người kiếm được khoảng 400 000 euro trong vài tuần bằng cách sử dụng phương pháp tương tự nhưng không sử dụng máy tính. Trong một số casino, người ta dùng máy ném bi roulette. Bằng cách đo vị trí ban đầu lúc bi được ném bằng mắt trần, những con bạc này có thể gia tăng tỷ lệ thắng cược vào những giây cuối cùng cho phép đặt tiền và thắng được số tiền đáng kể chỉ nhờ phản ứng nhanh nhạy.

* *

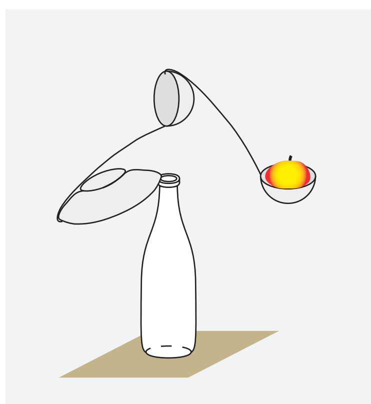
Câu đố 232 s Vũ trụ có quay không?

* *

Món đồ chơi trong Hình 86 cho ta thấy một hiện tượng thú vị: khi một số quả cầu được kéo ra và thả xuống cho chạm vào các quả cầu còn lại, một số quả cầu sẽ tách ra ở phía bên kia, trong khi các quả cầu buông rơi lúc đầu sẽ đứng yên. Thoạt tiên, ta tưởng điều này tuân theo sự bảo toàn năng lượng và động lượng. Tuy nhiên hai sự bảo toàn này chỉ cung cấp 2 phương trình không đủ để giải thích hay xác định cách hoạt động của 5 quả cầu. Tại sao các quả cầu lại hành xử như vậy? Và tại sao chúng dao động cùng pha sau
Câu đố 233 d một thời gian đã trôi qua?

* *

Một hiệu ứng đáng ngạc nhiên được sử dụng trong các đồ nghề gia dụng như khoan búa. Ta nên nhớ rằng khi một quả banh nhỏ va chạm đàn hồi với một vật lớn đứng yên, cả
Xem 102 hai đều di chuyển sau khi va chạm và vật nhỏ chuyển động nhanh hơn vật lớn. Dù vậy, khi một hình trụ ngắn đụng vào một hình trụ dài hơn có cùng đường kính và chất liệu, nhưng chiều dài là *bội số nguyên* của chiều dài vật ngắn, thì ta sẽ thấy điều kỳ lạ xảy ra. Sau khi va chạm, hình trụ nhỏ gần như đứng yên, trong khi hình trụ lớn chuyển động như ta thấy trong Hình 87. Dù va chạm là đàn hồi, hình như không có sự bảo toàn năng lượng trong trường hợp này. (Đúng ra đây là lý do các thí nghiệm chứng minh trong
Câu đố 234 d trường trung học đều sử dụng các quả cầu.) Điều gì đã xảy ra cho năng lượng?



HÌNH 88 Điều này có thể xảy ra không?



HÌNH 89 Thang sẽ rơi xuống như thế nào?

* *

Ta có thể tạo ra kết cấu như trong Hình 88 không?

* *

Câu đố 235 s Tường bật lên mạnh hơn khi một trái banh ném vào nó bật ra hay khi banh dính luôn vào tường?

* *

Câu đố 236 s Các bà nội trợ biết cách lấy nút chai ra khỏi chai rượu bằng cách sử dụng một miếng vải hay một chiếc giày. Bạn có thể hình dung ra cách làm không? Họ cũng biết cách lấy nút chai ra khỏi chai rượu bằng một miếng vải trong trường hợp nút rơi vào trong chai. Bằng cách nào?

* *

Câu đố 237 s Bài toán thang trượt, được trình bày dưới dạng sơ đồ trong Hình 89, tìm chuyển động chi tiết của thang theo thời gian. Bài toán khó hơn ta nghĩ, dù không tính đến ma sát. Bạn có thể nói là đầu dưới của thang có luôn luôn chạm sàn nhà hay không hay bị nhấc lên khỏi sàn trong thời gian ngắn?

* *

Một cái thang thuần nhất dài 5 m, khối lượng 30 kg dựa vào tường. Góc là 30°; hệ số ma sát nghỉ của tường có thể bỏ qua và trên sàn nhà là 0.3. Một người khối lượng 60 kg leo lên thang. Độ cao cực đại của người trên thang trước khi thang bắt đầu trượt? Câu đố này và nhiều câu đố về thang có ở trang www.mathematische-basteleien.de/leiter.htm.

* *

Xem 103 Một con ruồi đậu trên đuôi một tàu thuỷ 30 000 tấn có chiều dài 100 m sẽ làm tàu nghiêng đi một đoạn nhỏ hơn đường kính của một nguyên tử. Ngày nay người ta có thể đo được khoảng cách nhỏ này một cách dễ dàng. Bạn có thể nghĩ đến ít nhất 2 phương



HÌNH 90 Điều này có thật hay nó chỉ là một hình ảnh giả mạo? (© Wikimedia)

Câu đố 238 s pháp, trong đó có một phương pháp không tốn hơn 2000 euro hay không?

* *

Hình 3 con quay chồng lên nhau như trong Hình 90 là một hình thật, biểu diễn một thí nghiệm thật hay là một ảnh số, vẽ ra một tình trạng không có thật? Câu đố 239 ny

* *

Câu đố 240 s So sánh động năng của viên đạn súng trường với động năng của một người chạy bộ?

* *

Điều gì sẽ xảy ra cho kích thước một quả trứng khi ta đặt nó vào một lọ giấm trong vài ngày? Câu đố 241 s

* *

Biên độ dao động của con lắc bằng bao nhiêu nếu giá trị tuyệt đối của gia tốc của nó ở điểm thấp nhất và ở biên điểm bằng nhau? Câu đố 242 s

* *

Bạn có thể chứng minh gia tốc của một giọt nước rơi xuyên qua sương mù là $g/7$ không? Câu đố 243 d

* *

Bạn có 2 hình cầu rỗng có cùng khối lượng, kích thước và được sơn cùng màu. Một bằng đồng, một bằng nhôm. Điều hiển nhiên là chúng rơi với cùng tốc độ và gia tốc. Điều gì sẽ xảy ra nếu cả 2 lăn xuống trên một mặt phẳng nghiêng? Câu đố 244 s

* *

Câu đố 245 s Hình dáng của sợi dây trong trò chơi nhảy dây?

* *



HÌNH 91 Một đồng hồ thương mại không cần nguồn năng lượng đặc biệt vì nó lấy năng lượng từ môi trường xung quanh (© Jaeger-LeCoultre).

Làm cách nào để bạn có thể xác định tốc độ của một viên đạn súng trường bằng 1 cái cân và 1 thước đo chiều dài? Câu đố 246 s

* *

Tại sao súng làm lủng cửa nhưng không mở được nó khác với điều mà một ngón tay có thể làm được? Câu đố 247 e

* *

Quỹ đạo của trung điểm 1 cái thang đang trượt xuống trên một bức tường? Câu đố 248 s

* *

Một công ty công nghệ cao, www.enocean.com, có bán các công tắc đèn điện không dây và không có pin. Bạn có thể dán nó vào giữa khung cửa sổ. Bạn có thể làm điều đó bằng cách nào? Câu đố 249 s

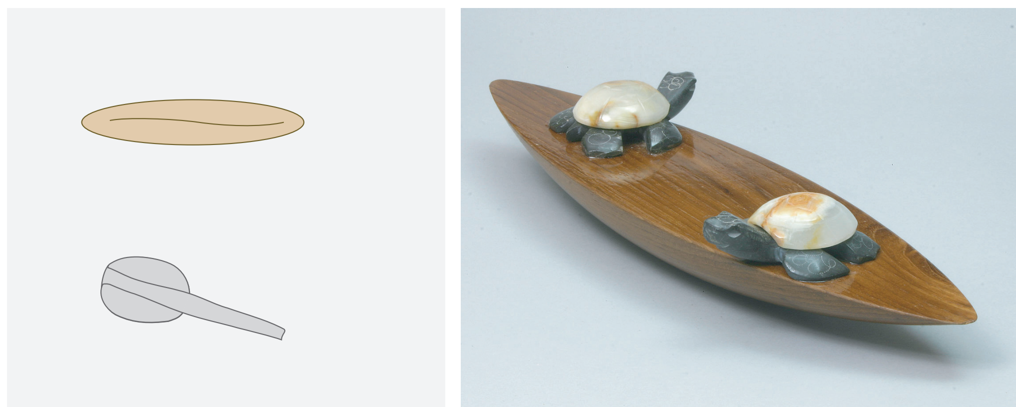
* *

Trong hơn 50 năm nay, một nhà chế tạo đồng hồ Thuỵ Sĩ nổi tiếng đã bán những đồng hồ để bàn với một con lắc quay không cần pin hay lên dây vì chúng lấy năng lượng từ môi trường xung quanh. Một mẫu đồng hồ có trong Hình 91. Bạn có hình dung ra cách hoạt động của đồng hồ này không? Câu đố 250 s





HÌNH 92 Máy nâng tàu hùng vĩ ở Strépy-Thieux, Bỉ. Công suất máy phải là bao nhiêu để nâng một con tàu, nếu hai máy nâng hai bên được nối với nhau bằng dây thừng hay bằng một hệ thống thuỷ lực? (© Jean-Marie Hoornaert)



HÌNH 93 Hòn đá lắc lư Celtic nổi tiếng – hình trên và hình bên phải – và một phiên bản được tạo ra bằng cách uốn cong một cái muỗng – hình dưới bên trái (© Ed Keath).

* *

Máy nâng tàu như ta thấy trong Hình 92, là các máy đẩy ấn tượng. Trọng lượng của máy
Câu đố 251 s nâng thay đổi như thế nào khi tàu đi vào?

* *

Câu đố 252 e Làm cách nào để đo khối lượng một con tàu?

* *

Người ta đo khối lượng bằng cách so sánh chúng, trực tiếp hay gián tiếp, với *kilogram chuẩn* đặt ở Sèvres gần Paris. Từ vài năm nay, người ta nghi ngờ rằng khối lượng kilogram chuẩn đang mất dần, có lẽ do sự hoá hơi, với tốc độ ước lượng khoảng 0.5 µg/a. Đây là một điều bất tiện và khắp nơi người ta nỗ lực tìm kiếm một định nghĩa tốt hơn cho kilogram. Một định nghĩa hoàn thiện phải đơn giản, chính xác và người ta không cần tới Sèvres nữa.

* *

Động cơ nào hiệu quả hơn: một chiếc moped hay một người trên xe đạp?

* *

Cả khối lượng và moment quán tính đều có thể định nghĩa và đo bằng phương pháp có
Câu đố 253 e tiếp xúc hoặc không. Bạn có thể làm như vậy không?

* *

Hình 93 là hình của *viên đá lắc lư Celtic*, còn được gọi là *anagyre* hay *rattleback*, một viên
Xem 102 đá sẽ quay trên một mặt phẳng khi ta làm cho nó dao động lên xuống. Kích thước có thể thay đổi từ vài cm tới vài m. Bằng cách bẻ cong một cái muỗng người ta có thể tạo ra một dạng thô sơ của thiết bị kỳ lạ này nếu chỗ uốn không hoàn toàn đối xứng. Nó luôn quay theo một hướng. Nếu quay sai chiều, sau một lúc nó sẽ ngừng và quay theo chiều ngược lại! Bạn có thể giải thích được hiệu ứng, dường như mâu thuẫn với sự bảo toàn
Câu đố 254 d moment động lượng, này hay không?

* *

Một hiệu ứng đẹp mắt, *đài phun dây xích*, được Steve Mould khám phá năm 2013. Một dây xích khi chảy ra ngoài bình chứa thì trước đó nó sẽ bắn lên cao trong không khí. Hãy xem video tại www.youtube.com/embed/_dQJBBklpQQ và câu chuyện về việc khám phá ra hiện tượng tại stevemould.com. Bạn có thể giải thích hiệu ứng này cho bà của bạn không?

Câu đố 255 ny

Tóm tắt về sự bảo toàn trong chuyển động

> “Các vị thần không giàu như ta nghĩ: cái họ cho người này thì họ lấy đi từ người khác.”
>
> Cổ nhân

Ta đã gặp 4 nguyên lý bảo toàn đúng với chuyển động của mọi hệ kín trong đời sống thông thường:
— bảo toàn động lượng toàn phần,
— bảo toàn moment động lượng toàn phần,
— bảo toàn năng lượng toàn phần,
— bảo toàn khối lượng toàn phần.
Không có nguyên lý bảo toàn nào áp dụng cho chuyển động của hình ảnh. Như vậy những nguyên lý này giúp cho ta phân biệt vật thể và hình ảnh.
Các nguyên lý bảo toàn là những thành tựu vĩ đại trong khoa học. Chúng giới hạn sự bất ngờ mà thiên nhiên có thể cung cấp: bảo toàn đồng nghĩa với việc động lượng, moment động lượng và năng-khối lượng không thể được tạo ra từ hư vô cũng như không thể tan biến vào hư vô. Bảo toàn giới hạn sự sáng tạo. Phần trích dẫn dưới tiêu đề thể hiện ý tưởng này.

Trang 280

Tiếp theo đây ta sẽ khám phá ra là những kết quả này có thể đã được suy ra từ 3 quan sát đơn giản: các hệ kín hoạt động độc lập với vị trí, hướng và thời điểm mà chúng được thiết lập. Bằng những thuật ngữ trừu tượng hơn, các vật lý gia thích nói rằng mọi nguyên lý bảo toàn đều là hệ quả của *các bất biến*, hay *đối xứng*, của thiên nhiên.

Sau này Thuyết tương đối đặc biệt sẽ chứng tỏ rằng năng lượng và khối lượng chỉ được bảo toàn khi chúng đi với nhau. Vẫn còn nhiều cuộc phiêu lưu chờ chúng ta.



Chương 5

Từ chuyển động quay của Trái đất tới tính tương đối của chuyển động

> Eppur si muove!
>
> Vô danh**

Trái đất có quay không? Việc tìm kiếm câu trả lời xác định cho câu hỏi này đã tạo ta một phân đoạn thú vị trong lịch sử Vật lý cổ điển. Vào khoảng năm 265 BCE, ở Samos, tư tưởng gia Hy Lạp Aristarchus là người đầu tiên cho rằng
Xem 104
Trái đất quay. Ông đã đo thị sai của Mặt trăng (số liệu hiện nay là 0.95°) và của Mặt trời (số liệu hiện nay là 8.8′).*** *Thị sai* là một hiệu ứng thú vị; nó là góc mô tả sự khác nhau giữa hướng của một vật trên bầu trời khi được một quan sát viên trên mặt đất và một quan sát viên giả định ở tâm Trái đất nhìn thấy. (Xem Hình 94.) Aristarchus nhận thấy rằng Mặt trăng và Mặt trời *lắc lư* trên bầu trời và sự lắc lư này có chu kỳ là 24 giờ. Ông kết luận rằng Trái đất đang quay. Hình như Aristarchus bị đe doạ đến tính mạng vì kết quả này.

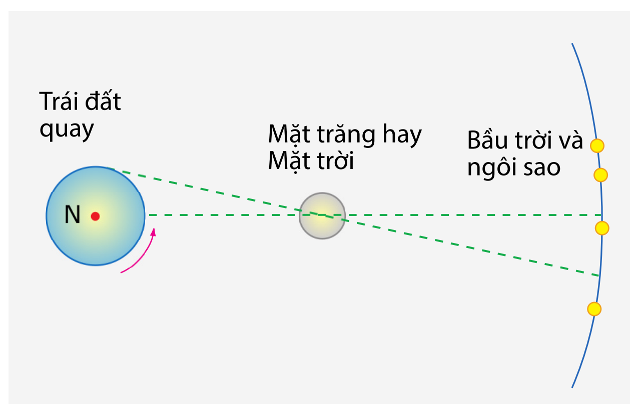
Quan sát của Aristarchus đã tạo ra sự tranh luận còn dữ dội hơn các vết của ngôi sao
Câu đố 256 e
trong Hình 95. Bạn có thể giải thích điều này không? (Và những vết này ở những nơi có
Câu đố 257 s
dân cư trông như thế nào?)

Việc trải nghiệm Hình 95 có thể là lý do người ta đã mơ và còn mơ về việc thám hiểm các địa cực. Vì chuyển động quay và chuyển động của Trái đất làm cho các địa cực trở thành các nơi rất lạnh, việc thám hiểm chúng không phải là điều dễ thực hiện. Nhiều cố
Xem 135
gắng đã thất bại. Tên lừa đảo nổi tiếng, Robert Peary, tuyên bố là đã đến Bắc cực năm 1909. (Đúng ra Roald Amundsen đã đến cả 2 cực đầu tiên.) Peary tuyên bố đã chụp hình nơi đến, nhưng những tấm hình chu du khắp thế giới đó hoá ra lại là bằng chứng cho
Câu đố 258 s
việc hắn chưa tới đó bao giờ. Bạn có biết tại sao không?

Nếu Trái đất quay thay vì đứng yên, được xem là không thuyết phục thì tốc độ ở xích đạo có giá trị đáng kể là 0.46 km/s. Galilei đã giải thích về việc ta không cảm nhận được
Câu đố 259 e
tốc độ này như thế nào?
Quyển II, trang 19
Các phép đo tinh sai cũng cho thấy chuyển động quay của Trái đất; người ta có thể thấy hiện tượng này bằng một kính thiên văn khi quan sát các ngôi sao. *Quang sai* là sự đổi hướng của ánh sáng mà ta sẽ bàn ngay sau đây. Ở xích đạo, chuyển động quay của Trái đất cộng thêm một góc lệch 0.32′, đổi dấu 12 giờ một lần, vào quang sai do chuyển

** 'Mặc dù vậy nó vẫn chuyển động' là câu nói về Trái đất, thường được gán một cách sai lầm cho Galilei từ thập niên 1640. Tuy nhiên, đúng là ở pháp đình ông đã bị ép buộc công khai rút lại phát biểu về Trái đất chuyển động để cứu lấy sinh mạng của mình. Để biết thêm chi tiết về câu chuyện nổi tiếng này bạn hãy xem ở Trang 334.

*** Về định nghĩa khái niệm góc hãy xem Trang 68, và định nghĩa đơn vị đo góc hãy xem Phụ lục 17.



HÌNH 94 Thị sai – hình vẽ không đúng tỷ lệ.

động của Trái đất quanh Mặt trời, khoảng 20.5′. Hiện nay, các thiên văn gia đã tìm được thêm nhiều bằng chứng về chuyển động quay của Trái đất nhưng không có điều nào để một người trên phố có thể tiếp cận được.

Cũng có các phép đo cho ta thấy Trái đất không phải là hình cầu mà *hơi dẹt* ở 2 cực, đã chứng minh là Trái đất đang quay. Hình 96 minh hoạ cho tình trạng này. Tuy vậy, phép đo vào thế kỷ 18 do Maupertuis thực hiện* không thể nhận ra trong đời sống hằng ngày.

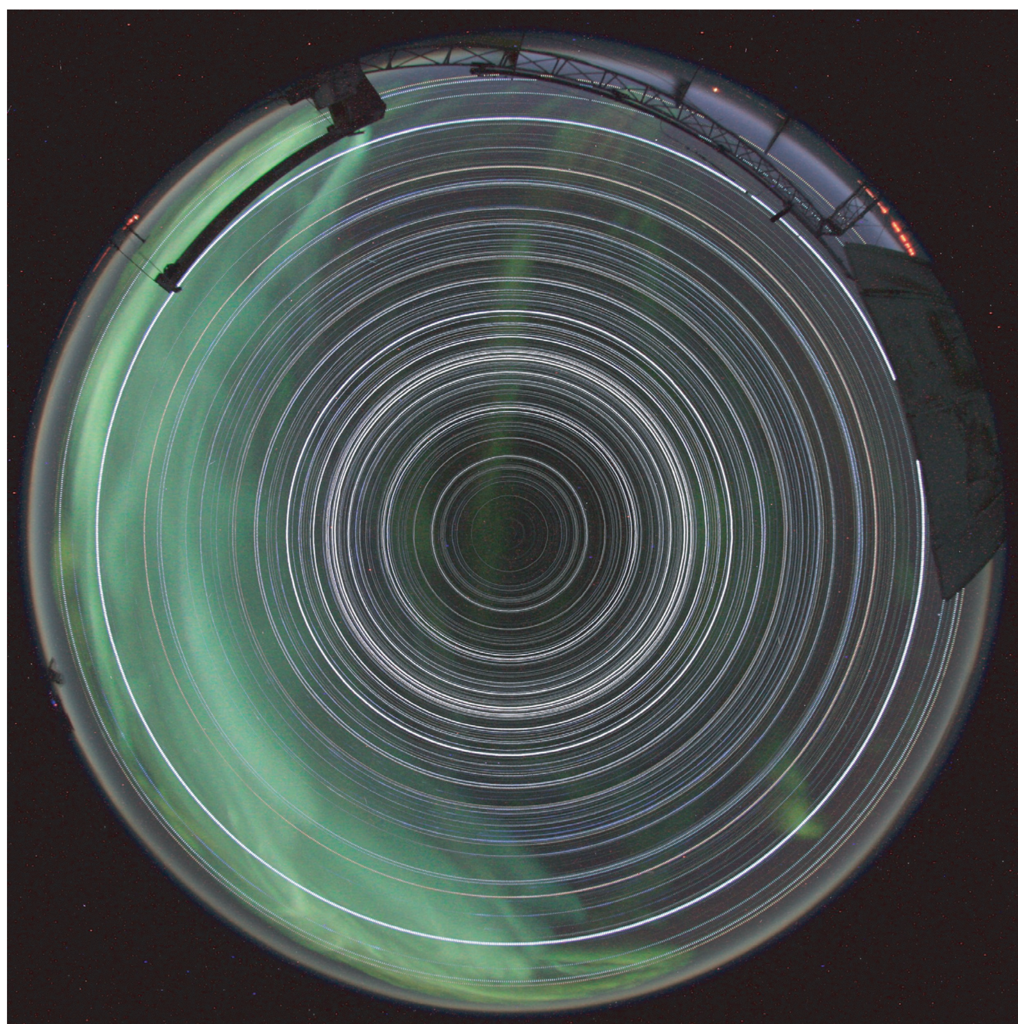
Trong những năm từ 1790 tới 1792 ở Bologna, Giovanni Battista Guglielmini (1763–1817) sau cùng đã thành công trong việc đo được điều mà Galilei và Newton đã tiên đoán là bằng chứng đơn giản nhất của chuyển động quay của Trái đất. Trên Trái đất đang quay *các vật không rơi thẳng đứng*, mà bị lệch nhẹ về hướng Đông. Độ lệch này xuất hiện vì vật giữ vận tốc ngang lớn mà nó đã có ở độ cao nơi vật bắt đầu rơi như ta thấy trong Hình 97. Kết quả của Guglielmini là bằng chứng phi thiên văn đầu tiên của chuyển động quay của Trái đất. Các thí nghiệm này đã được Johann Friedrich Benzenberg (1777–1846) làm lại vào năm 1802. Sử dụng bi kim loại được thả từ tháp Michaelis ở Hamburg – có độ cao 76 m – Benzenberg nhận thấy rằng độ lệch về phía Đông là 9.6 mm. Bạn có thể chứng minh giá trị do Benzenberg đo được gần như phù hợp với giả định là Trái đất quay 1 vòng mất 24 giờ không? Cũng có nhiều độ lệch nhỏ hơn hướng về Xích đạo nhưng cho tới nay chúng chưa được ai đo kể cả Guglielmini, Benzenberg; tuy vậy, nó hoàn thành bảng các hiệu ứng trên vật rơi tự do, do chuyển động quay của Trái đất gây ra.

Câu đố 260 d

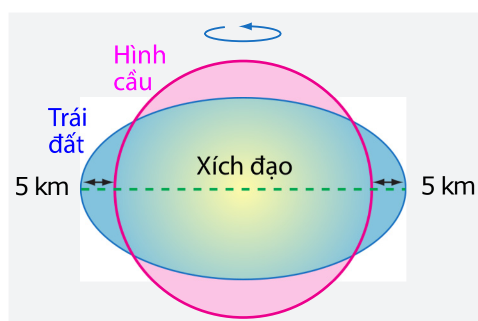
Cả 2 độ lệch khỏi phương rơi tự do thẳng đứng cũng dễ hiểu nếu ta sử dụng kết quả (được mô tả dưới đây) là vật rơi sẽ vẽ ra một đường ellipse quanh tâm của Trái đất. Hình có dạng ellipse chứng tỏ rằng quỹ đạo của một hòn đá được ném đi không nằm trên một mặt phẳng đối với quan sát viên đứng trên mặt đất; đối với quan sát viên đó, quỹ đạo chính xác của hòn đá không thể vẽ trên một tờ giấy phẳng!

Trang 193

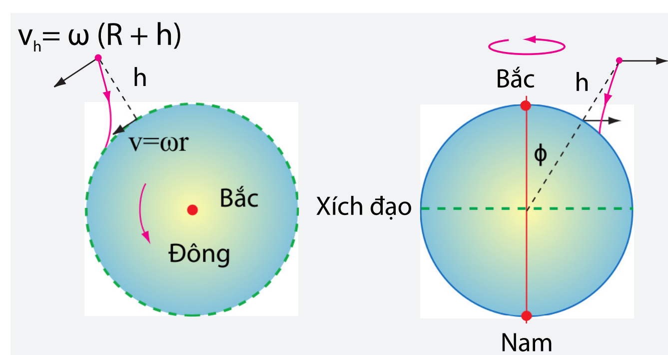
* Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698–1759), vật lý gia và toán gia, là một trong những nhân vật chính của cuộc hành trình tìm kiếm nguyên lý tác dụng cực tiểu, đã được ông đặt tên như vậy. Ông cũng là Viện trưởng của Viện hàn lâm khoa học Berlin khi thành lập. Maupertuis cho rằng nguyên lý này phản ánh sự cực đại hoá các phần tinh tuý trong vũ trụ. Ý tưởng này bị Voltaire hết sức chế giễu trong quyển *Histoire du Docteur Akakia et du natif de Saint-Malo*, 1753. (Bạn có thể đọc nó tại www.voltaire-integral.com/Html/23/08DIAL.htm.) Maupertuis thực hiện các phép đo về Trái đất để phân biệt giữa lý thuyết hấp dẫn của Newton và của Descartes, người đã tiên đoán rằng Trái đất kéo dài ở 2 cực thay vì dẹt.



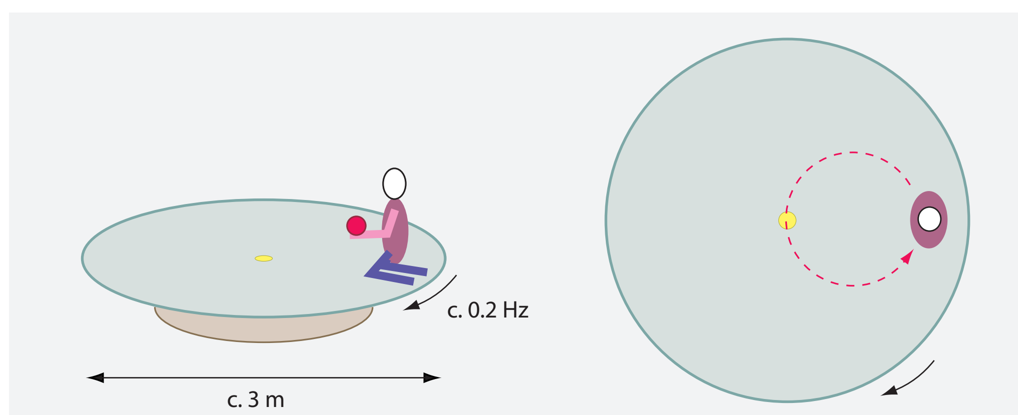
HÌNH 95 Chuyển động của các ngôi sao trong đêm, được quan sát vào ngày 1/5/2012 từ Nam cực, cùng với ánh sáng lục của cực quang (© Robert Schwartz).



HÌNH 96 Sự biến dạng của Trái đất bắt nguồn từ sự tự quay của nó (có hơi phóng đại).



HÌNH 97 Sự lệch hướng rơi tự do về phía Đông và về phía Xích đạo do chuyển động quay của Trái đất.



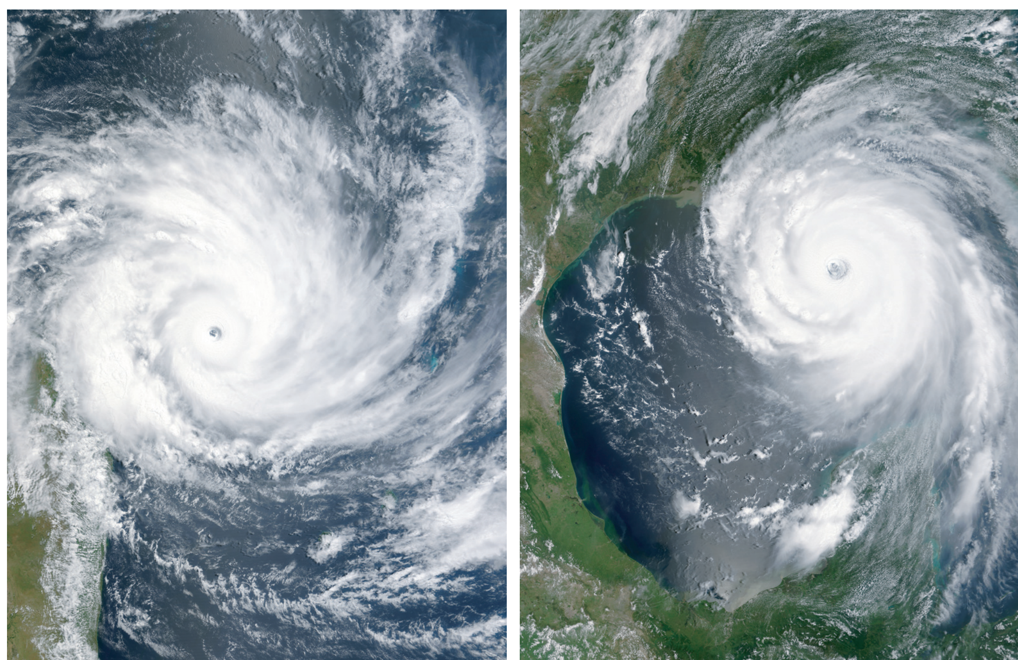
HÌNH 98 Một bàn quay sẽ cho ta quan sát hiệu ứng Coriolis dưới dạng lạ lùng nhất: nếu một người để cho một trái banh lăn đi với tốc độ và hướng thích hợp, nó sẽ bị lệch nhiều đến nỗi sẽ quay lại với người đó.

Xem 105

Năm 1798, Pierre Simon Laplace* đã giải thích cách vật thể chuyển động trên Trái đất quay tròn và chứng minh rằng chúng chịu tác dụng của một lực biểu kiến. Năm 1835, Gustave-Gaspard Coriolis đã cải tiến và đơn giản hoá sự mô tả. Bạn hãy tưởng tượng một trái banh lăn trên mặt bàn. Đối với người trên sàn nhà, banh lăn theo đường thẳng. Bây giờ hãy tưởng tượng là bàn quay. Đối với người trên sàn nhà, banh vẫn lăn theo đường thẳng. Nhưng đối với người trên bàn quay, banh vẽ ra một *đường cong*. Tóm lại, một vật bất kỳ chuyển động trên một bàn quay sẽ chịu tác dụng của một gia tốc ngang. Gia tốc này do Laplace khám phá, ngày nay được gọi là *gia tốc Coriolis* hay *hiệu ứng Coriolis*. Trên một bàn quay, vật chuyển động bị lệch khỏi phương thẳng. Cách tốt nhất để hiểu hiệu ứng Coriolis là bạn tự cảm nhận nó; điều này có thể thực hiện trên một bàn quay như trong Hình 98. Việc xem film có trên Internet về chủ đề này cũng khá hữu ích. Bạn sẽ nhận thấy rằng trên một bàn quay thật khó mà chạm vào một mục tiêu bằng cách ném hay lăn một trái banh.

Xem 106

* Pierre Simon Laplace (b. 1749 Beaumont-en-Auge, d. 1827 Paris), toán gia nổi tiếng. Chuyên luận nổi tiếng của ông *Traité de mécanique céleste* xuất bản thành 5 tập từ 1798 đến 1825. Ông là người đầu tiên cho rằng Thái dương hệ được tạo thành từ một đám mây khí quay tròn và là một trong những người đầu tiên tưởng tượng và tìm hiểu về hố đen.

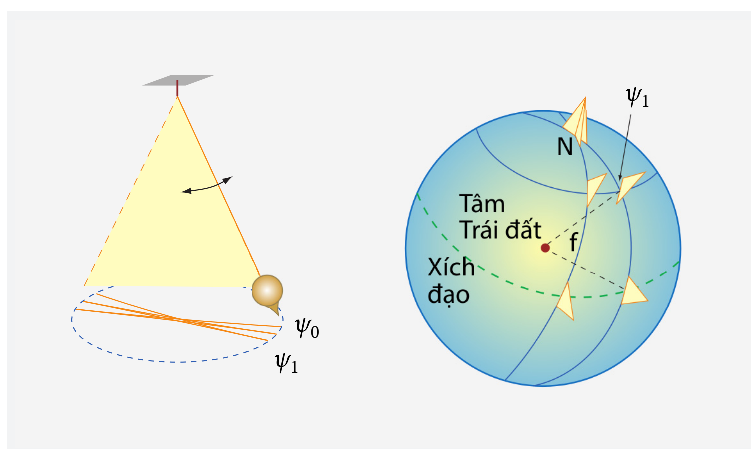


HÌNH 99 Lốc xoáy, với tâm có áp suất thấp, khác nhau về chiều quay giữa nam bán cầu, ở đây là lốc xoáy Larry năm 2006, và bắc bán cầu, ở đây là cuồng phong Katrina năm 2005. (Courtesy NOAA)

Trái đất cũng là một bàn quay. Ở bắc bán cầu, chuyển động quay ngược chiều kim đồng hồ. Kết quả là vật chuyển động sẽ lệch nhẹ về phía tay phải (trong khi độ lớn của vận tốc không thay đổi). Trên Trái đất, giống như trên các bàn quay, *gia tốc Coriolis* $\boldsymbol{a}_C$ là kết quả của sự thay đổi của khoảng cách tới trục quay. Bạn có thể chứng minh biểu
Câu đố 261 s thức giải tích của hiệu ứng Coriolis, cụ thể là $\boldsymbol{a}_C = -2\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{v}$ hay không?

Trên Trái đất gia tốc Coriolis thường có giá trị nhỏ. Do đó nó được thấy rõ nhất là ở các hiện tượng có tầm cỡ lớn hay tốc độ cao. Thật vậy, gia tốc Coriolis xác định chiều quay của nhiều hiện tượng to lớn có dạng xoắn ốc, như hướng của lốc xoáy và lốc xoáy nghịch trong các hiện tượng khí tượng – như ta thấy trong Hình 99 – các kiểu thức gió tổng quát trên Trái đất, sự chảy lệch của các hải lưu và thuỷ triều. Các hiện tượng này có chiều quay ngược nhau ở 2 bán cầu. Gia tốc Coriolis giải thích một cách đẹp đẽ nhất,
Xem 107 lý do các băng sơn không đi theo hướng gió khi chúng trôi ra từ các địa cực. Gia tốc Coriolis cũng đóng vai trò quan trọng chuyển động bay của đạn đại bác (đó là sự quan tâm ban đầu của Coriolis), trong việc phóng phi thuyền, trong sự chuyển động của
Xem 108 các vết đen Mặt trời và ngay trong chuyển động của electron trong phân tử. Tất cả các gia tốc Coriolis này có dấu ngược nhau trên 2 bán cầu nên nó chứng minh cho sự quay của Trái đất. Trong thế chiến I, nhiều súng của hải quân bắn hụt mục tiêu ở nam bán cầu vì các kỹ sư đã bổ chính chúng cho hiệu ứng Coriolis ở bắc bán cầu.

Xem 109 Năm 1962, sau nhiều nỗ lực của các nhà nghiên cứu trước kia, Asher Shapiro là người đầu tiên chứng minh rằng hiệu ứng Coriolis có một ít ảnh hưởng tới hướng của xoáy nước được tháo ra khỏi bồn tắm. Thay cho bồn tắm bình thường ông đã phải sử dụng một bộ dụng cụ thí nghiệm được thiết kế cẩn thận vì trái với điều khẳng định mà ta



HÌNH 100 Chuyển động quay của con lắc chứng tỏ Trái đất đang quay.

thường nghe, ta không thể thấy được hiệu ứng như vậy trong một bồn tắm thật. Ông thành công nhờ khử hết các nhiễu loạn từ hệ thống; thí dụ như ông chờ 24 giờ sau khi đổ đầy hồ nước (và không bao giờ bước vào hay bước ra khỏi hồ!) để tránh các chuyển động còn sót lại của nước sẽ làm nhiễu loạn hiệu ứng và chế tạo bộ phận mở hoàn toàn đối xứng tròn xoay được thiết kế một cách kỹ lưỡng. Một số người khác đã lặp lại thí nghiệm này ở nam bán cầu, đã tìm thấy hướng chuyển động ngược lại và như vậy khẳng định được kết quả. Nói cách khác, chiều quay của xoáy nước trong bồn nước thông thường *không* do chuyển động quay của Trái đất mà là kết quả của việc nước chảy ra khỏi bồn. (Nhiều tên lừa đảo ở Quito, một thành phố nằm trên Xích đạo, nói cho các du khách cả tin rằng xoáy nước trong bồn thay đổi khi đi ngang qua đường xích đạo được vẽ trên mặt đường.) Nhưng ta hãy tiếp nối câu chuyện về chuyển động quay của Trái đất.

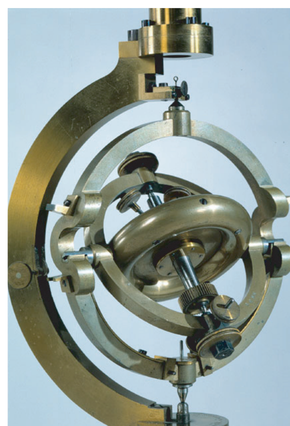
Xem 109

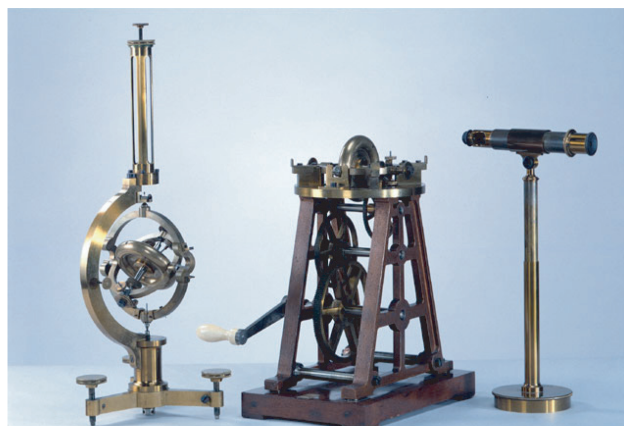
Năm 1851, bác sĩ đổi nghề thành vật lý gia Jean Bernard Léon Foucault (b. 1819 Paris, d. 1868 Paris) đã thực hiện một thí nghiệm xoá bỏ mọi nghi ngờ và khiến ông trở nên nổi tiếng khắp thế giới chỉ sau một đêm. Ông treo một con lắc dài 67 m * ở điện Panthéon, Paris và biểu diễn cho công chúng ngạc nhiên thấy rằng phương dao động của con lắc thay đổi theo thời gian, thể hiện ở chỗ quay đi rất chậm. Đối với người kiên nhẫn bỏ ra vài phút để theo dõi sự đổi phương, thí nghiệm này chứng tỏ Trái đất đang quay. Nếu Trái đất không quay, phương dao động của con lắc sẽ giữ nguyên. Trên Trái đất đang quay, ở Paris, phương này lệch về phía bên phải, theo chiều kim đồng hồ, như ta thấy trong Hình 100. Phương dao động sẽ không đổi nếu con lắc được đặt ở Xích đạo và nó sẽ lệch sang trái nếu ở nam bán cầu.** Một phiên bản mới của con lắc có thể xem qua web cam có ở trang pendelcam.kip.uni-heidelberg.de; film tốc độ nhanh của chuyển động

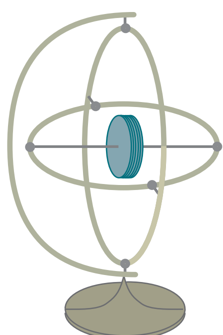
Câu đố 262 d
Xem 110

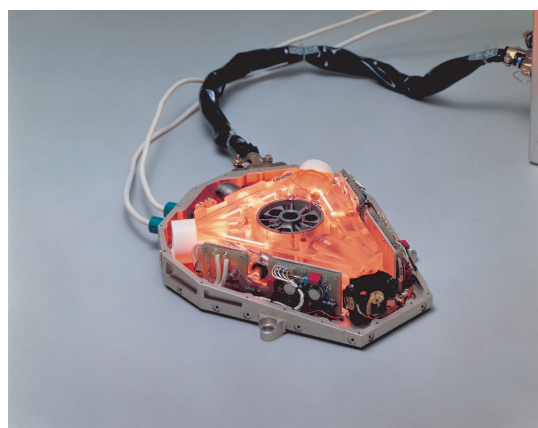
* Tại sao lại cần một con lắc dài như vậy? Bạn hãy tìm hiểu lý do cho phép ta lặp lại thí nghiệm này tại nhà bằng cách sử dụng 1 con lắc ngắn khoảng 70 cm, cộng với vài thủ thuật. Để quan sát hiệu ứng Foucault bằng một thiết bị đơn giản, bạn hãy cột một con lắc vào chiếc ghế văn phòng và quay nó một cách chậm rãi. Nhiều hoạt hình con lắc với độ lệch đã được phóng đại có thể được tìm thấy tại commons.wikimedia.org/wiki/Foucault_pendulum.

** Khám phá này cũng cho ta thấy cách mà sự chính xác và thiên tài đi với nhau. Đúng ra, người đầu tiên quan sát hiệu ứng này là Vincenzo Viviani, một học trò của Galilei, vào năm 1661! Thật vậy, Foucault đã đọc tác phẩm của Viviani trong các tài liệu của viện Academia dei Lincei. Nhưng thiên tài của Foucault đã kết nối hiệu ứng này với chuyển động quay của Trái đất; trước đó chưa ai làm điều này.









HÌNH 101 Con quay hồi chuyển: hệ thống ban đầu của Foucault với con quay có thể chuyển động tự do, dụng cụ cơ học để làm cho nó quay, quang cụ để phát hiện chuyển động của nó, nguyên lý kết cấu tổng quát, và một con quay hồi chuyển laser vòng (tam giác) hiện đại, dựa trên sự đổi màu của đèn laser quay thay vì sự thay đổi góc của vật quay (© CNAM, JAXA).

của con lắc trong một ngày đêm cũng có thể tải xuống tại www.kip.uni-heidelberg.de/oeffwiss/pendel/zeitraffer/.

Thời gian để phương dao động của con lắc quay đủ 1 vòng – *thời gian tiến động* – có thể tính được. Hãy nghiên cứu một con lắc bắt đầu dao động theo phương Bắc–Nam và bạn sẽ tìm ra thời gian tiến động là T_{Foucault}

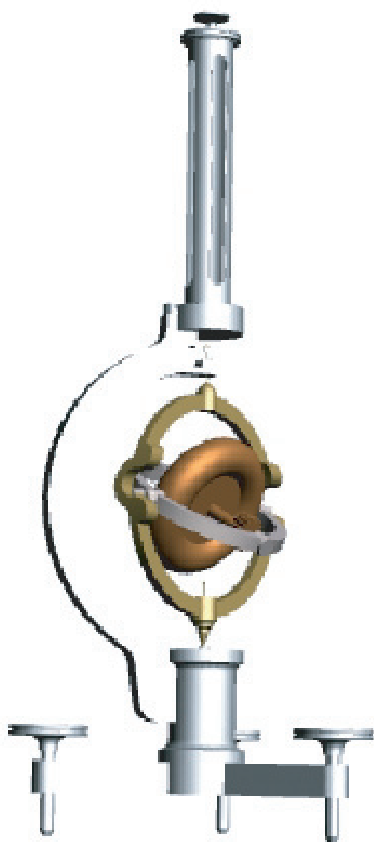
Câu đố 263 d

$$T_{\text{Foucault}} = \frac{23\,\text{h}\ 56\,\text{min}}{\sin\varphi} \qquad (34)$$

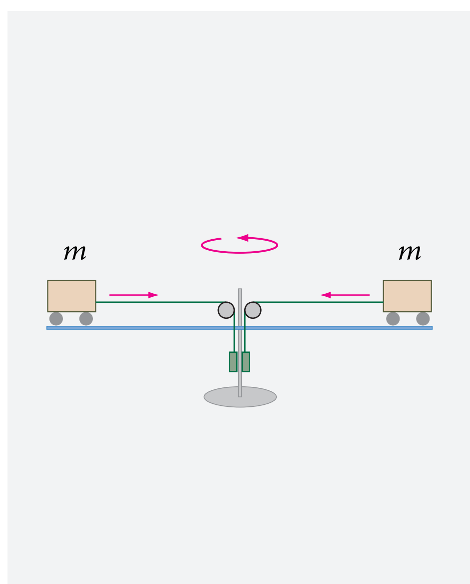
trong đó φ là vĩ độ của con lắc, thí dụ như 0° ở Xích đạo và 90° ở Bắc cực. Đây là một trong những kết quả đẹp nhất của động học Galilei.*

Foucault cũng là người phát minh và đặt tên cho *con quay hồi chuyển*. Ông chế tạo thiết bị này như ta thấy trong Hình 101 và Hình 102, vào năm 1852, một năm sau con lắc

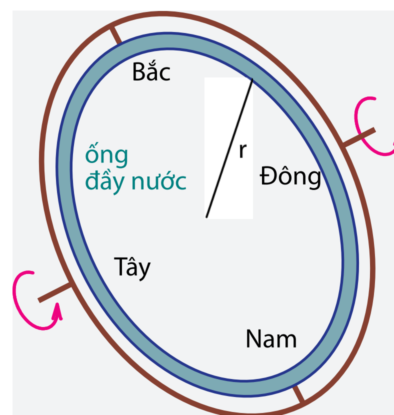
* Việc tính toán chu kỳ của con lắc Foucault đã giả sử rằng tốc độ tiến động không đổi trong khi quay. Điều này chỉ là gần đúng (mặc dù nó thường là một gần đúng tốt).



HÌNH 102 Một mô hình con quay hồi chuyển 3 chiều ban đầu của Foucault: trong phiên bản pdf của sách này, mô hình có thể quay và phóng to/nhỏ bằng cách di chuyển con chạy trên nó (© Zach Joseph Espiritu).



HÌNH 103 Chứng minh chuyển động quay của Trái đất thông qua chuyển động quay quanh một trục.



HÌNH 104 Chứng minh chuyển động quay của Trái đất bằng nước.

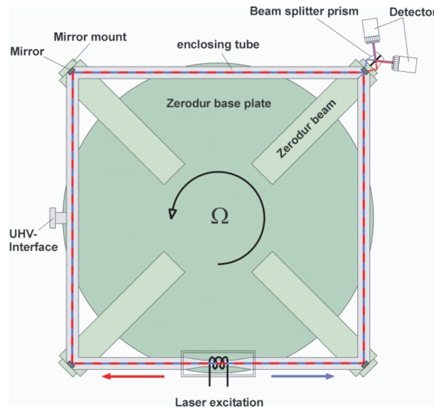
của ông. Nhờ nó ông lại chứng minh được chuyển động quay của Trái đất. Một khi con quay hồi chuyển quay, trục quay sẽ cố định trong không gian – nhưng chỉ khi nhìn từ các ngôi sao hay thiên hà ở xa. (Ngoài ra đây không phải giống như việc ta nói về không
Câu đố 264 s
gian tuyệt đối. Tại sao?) Đối với một quan sát viên trên Trái đất, phương của trục quay thay đổi đều đặn với chu kỳ 24 giờ. Con quay hồi chuyển hiện nay thường được sử dụng trên tàu thuyền và trong phi cơ để định hướng Bắc vì chúng chính xác và tin cậy hơn la bàn từ. Phiên bản hiện đại nhất sử dụng ánh sáng laser chạy trong các vòng tròn thay vì
Câu đố 265 s
các vật quay. *

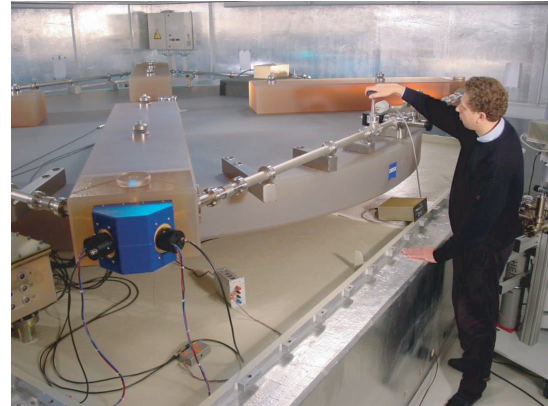
Năm 1909, Roland von Eötvös đo được một hiệu ứng nhỏ nhưng kỳ lạ: do chuyển động quay của Trái đất, trọng lượng của một vật phụ thuộc vào hướng mà nó di chuyển. Kết quả là, một cái cân quay quanh một trục thẳng đứng sẽ không hoàn toàn nằm ngang:
Câu đố 266 s
nó dao động nhẹ nhàng. Bạn có thể giải thích nguồn gốc của hiệu ứng này không?

Xem 111
Năm 1910, John Hagen công bố kết quả của một thí nghiệm đơn giản hơn, do Louis Poinsot đề nghị vào năm 1851. Hai vật đặt trên một thanh ngang có thể quay quanh một trục thẳng đứng, được gọi là *đẳng phân kế*. Khối lượng tổng cộng của chúng là 260 kg. Nếu 2 vật chuyển động chậm về phía giá nâng như trong Hình 103, và nếu ma sát ít, thanh ngang sẽ quay. Điều hiển nhiên là việc này sẽ không xảy ra nếu Trái đất không
Câu đố 267 s
quay. Bạn có thể giải thích thí nghiệm này không? Hiệu ứng ít người biết này cũng hữu dụng trong việc cá cược giữa các vật lý gia.

Năm 1913, Arthur Compton đã chứng tỏ rằng một ống kín đầy nước và một số hạt nhỏ nổi bên trong (hay các bọt khí) có thể được sử dụng để chứng minh cho chuyển
Xem 112
động quay của Trái đất. Dụng cụ này được gọi là *ống Compton* hay *bánh xe Compton*. Compton đã chứng minh rằng khi một ống nằm ngang đầy nước quay đi 1 góc 180°, sẽ

* Bạn có thể đoán được trong trường hợp này người ta dò ra chuyển động quay như thế nào không?





HÌNH 105 Một giao thoa kế laser vòng chính xác hiện đại (© Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Carl Zeiss).

xảy ra những điều mà ta có thể dùng để chứng tỏ rằng Trái đất đang quay. Thí nghiệm được trình bày trong Hình 104 cũng có thể được dùng để đo vĩ tuyến của nơi làm thí nghiệm. Bạn có thể đoán được điều gì xảy ra không?

Câu đố 268 d

Một phương pháp khác để phát hiện chuyển động quay của Trái đất là sử dụng ánh sáng được Georges Sagnac thực hiện lần đầu tiên năm 1913: * ông sử dụng một *giao thoa kế* để tạo ra các vân sáng và tối của ánh sáng bằng 2 chùm ánh sáng, một chạy vòng theo chiều kim đồng hồ và chùm thứ 2 theo chiều ngược lại. Các vân giao thoa *sẽ dịch chuyển* khi ta quay cả hệ thống; hệ thống quay càng nhanh thì độ dịch chuyển vân càng lớn. Một phiên bản hiện đại có độ chính xác cao của thí nghiệm, sử dụng laser thay vì đèn, được trình bày trong Hình 105. (Chi tiết về sự giao thoa và vân giao thoa có trong quyển III.) Sagnac cũng tìm được mối liên hệ giữa độ dịch chuyển vân và các chi tiết của thí nghiệm. Chuyển động quay của giao thoa kế vòng với tần số góc (vector) **Ω** sẽ tạo ra một độ lệch phase $\Delta\varphi$

Quyển IV, trang 58
Xem 113
Quyển III, trang 105
Câu đố 269 s

$$\Delta\varphi = \frac{8\pi\, \boldsymbol{\Omega}\, \boldsymbol{a}}{c\,\lambda} \tag{35}$$

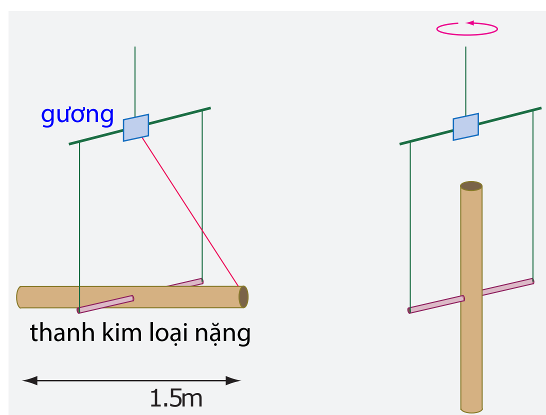
trong đó $\boldsymbol{a}$ là diện tích (vector) bao bởi 2 tia sáng giao thoa, λ là bước sóng ánh sáng và c là tốc độ ánh sáng. Hiệu ứng này được gọi là *hiệu ứng Sagnac* theo tên người khám phá. Nó đã được Oliver Lodge tiên đoán trước đó 20 năm. ** Ngày nay, giao thoa kế Sagnac là phần chính của con quay hồi chuyển laser – như ta thấy trong Hình 101 – và có mặt trong mọi phi cơ hành khách, hoả tiễn và tàu ngầm, để đo sự thay đổi của chuyển động và để xác định vị trí thực của vật.

Xem 114

Một phần dịch chuyển vân do chuyển động quay của Trái đất. Giao thoa kế Sagnac hiện đại có độ chính xác cao sử dụng laser vòng có diện tích vài mét vuông, như ta thấy

* Georges Sagnac (b. 1869 Périgeux, d. 1928 Meudon-Bellevue) là một vật lý gia ở Lille và Paris, bạn của gia đình Curies, Langevin, Perrin và Borel. Sagnac cũng tìm ra được là tốc độ ánh sáng độc lập với tốc độ của nguồn và khẳng định tiên đoán của Thuyết tương đối đặc biệt.

** Oliver Lodge (b. 1851, Stoke, d. on-Trent-1940, Wiltshire) là vật lý gia và nhà duy linh, người nghiên cứu về sóng điện từ và đã thử liên lạc với những người chết. Một nhân vật kỳ lạ nhưng có nhiều ảnh hưởng, tư tưởng của ông thường được trích dẫn khi các vật lý gia cần vui đùa; thí dụ như ông là một trong những nhà vật lý (hiếm hoi) tin rằng vào cuối thế kỷ 19 thì Vật lý học đã hoàn chỉnh.



HÌNH 106 Quan sát chuyển động quay của Trái đất trong 2 giây.

trong Hình 105. Một giao thoa kế vòng như vậy có thể đo được sự thay đổi tốc độ quay của Trái đất nhỏ hơn 1/1000000. Thật vậy, trong thời gian 1 năm, chiều dài của ngày thay đổi không đều khoảng vài ms, phần lớn do ảnh hưởng của Mặt trời hay Mặt trăng, do sự Xem 115 thay đổi thời tiết và do các dòng magma nóng ở sâu trong lòng Trái đất.* Nhưng động đất, hiệu ứng El Niño trong khí hậu và sự tích trữ nước vào các đập lớn cũng có tác động lên chuyển động quay của Trái đất. Mọi hiệu ứng này đều có thể dùng các giao thoa kế có độ chính xác cao để nghiên cứu; chúng cũng có thể được dùng để nghiên cứu về chuyển động của đất bắt nguồn từ hiện tượng triều do Mặt trăng hay động đất và để kiểm tra Thuyết tương đối đặc biệt.

Sau cùng, vào năm 1948, Hans Bucka đã phát triển một thí nghiệm đơn giản nhất từ Xem 116 trước cho tới nay để chứng minh chuyển động quay của Trái đất. Một thanh kim loại cho phép một người bất kỳ dò ra chuyển động quay của Trái đất chỉ sau vài giây quan sát, bằng cách dùng bộ dụng cụ trong Hình 106. Thí nghiệm này có thể thực hiện trong Câu đố 270 s lớp một cách dễ dàng. Bạn có đoán ra cách hoạt động của nó không?

Tóm lại: mọi thí nghiệm đều chứng tỏ rằng mặt đất quay với tốc độ 464 m/s tại Xích đạo, một giá trị lớn hơn tốc độ âm trong không khí, khoảng 340 m/s ở điều kiện thông thường. Chuyển động quay của Trái đất cũng tạo ra một gia tốc, ở Xích đạo, khoảng $0.034\,\mathrm{m/s^2}$. Đúng ra ta đang *quay cuồng* xuyên qua vũ trụ.

Trái đất quay như thế nào?

Chuyển động quay của Trái đất, chiều dài của ngày, có *không đổi* trong niên đại địa chất không? Đó là một câu hỏi khó. Nếu bạn tìm được phương pháp tìm ra câu trả lời, bạn Xem 117 hãy công bố nó! (Điều này cũng đúng đối với câu hỏi về chiều dài của năm.) Chỉ có vài phương pháp mà ta sẽ khám phá ngay sau đây.

Chuyển động quay của Trái đất có thay đổi trong lịch sử loài người. Nó thay đổi chừng vài $1/10^8$. Đặc biệt, theo thang thời gian 'trăm năm' thì chiều dài 1 ngày thay đổi từ 1 tới 2 ms mỗi thế kỷ, chủ yếu là do lực cản của Mặt Trăng và sự tan chảy của các chỏm băng ở địa cực. Điều này được suy ra từ việc nghiên cứu các quan sát thiên văn trong lịch sử

* Sự tăng trưởng của lá cây và sự thay đổi moment quán tính của Trái đất, đã được Harold Jeffreys nghĩ tới vào năm 1916, thì quá nhỏ nên ta không thể thấy được vì chúng bị các hiệu ứng mạnh hơn che lấp.

Xem 118 của người Babylon cổ và các thiên văn gia Arab. Còn các thay đổi theo 'thập niên' có biên độ là 4 hay 5 ms và bắt nguồn từ chuyển động của phần lỏng bên trong lõi Trái đất. (Lõi trong tâm Trái đất là chất rắn; điều này đã được nhà địa chấn học Đan Mạch Inge Lehmann (1888–1993) khám phá vào năm 1936; khám phá của bà đã được khẳng định mạnh mẽ bởi 2 nhà địa chấn học Anh vào năm 2008, người đã phát hiện ra sóng trượt của lõi trong, khẳng định kết luận của Lehmann. Có một nhân lỏng bao quanh nhân rắn.)

Sự thay đổi chiều dài của ngày theo mùa và mỗi 2 năm – với biên độ 0.4 ms mỗi 6 tháng, 0.5 ms cho 1 năm, và 0.08 ms cho hơn 24 tới 26 tháng – chủ yếu là do các tác dụng của *khí quyển*. Trong thập niên 1950 các phép đo chính xác đã chứng tỏ rằng có cả chu kỳ 14 và 28 ngày với biên độ 0.2 ms do Mặt trăng. Trong thập niên 1970, khi *các dao động của gió* với thang đo cỡ 50 ngày được khám phá, người ta cũng thấy chúng đã làm thay đổi chiều dài của ngày, với biên độ khoảng 0.25 ms. Tuy vậy, những biến đổi sau cùng này khá thất thường.

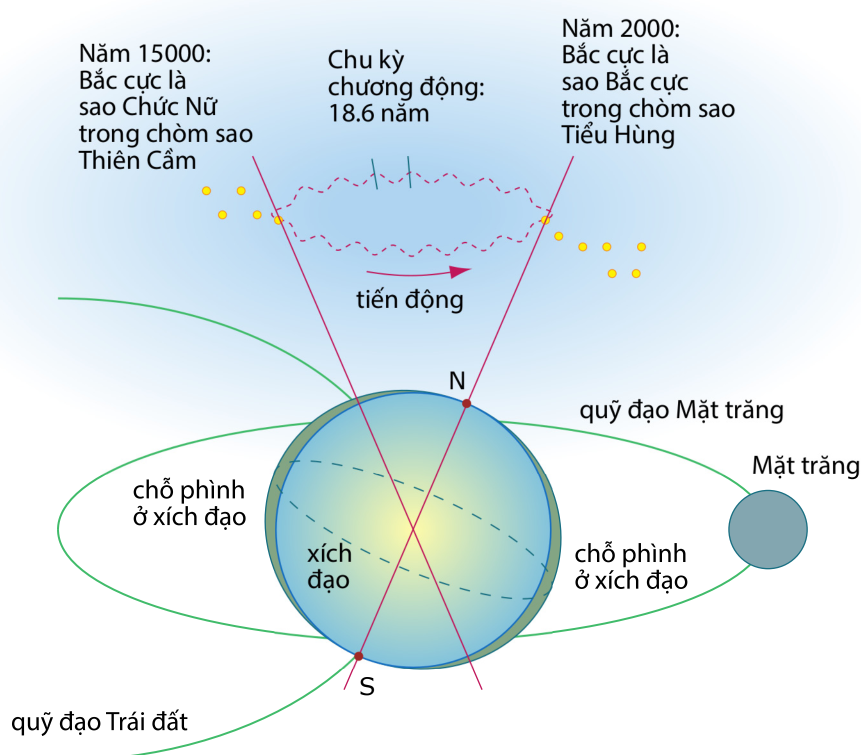
Các đại dương cũng ảnh hưởng đến chuyển động quay của Trái đất, do thuỷ triều, các Xem 119 hải lưu, tác động của gió và áp suất khí quyển. Các tác động khác bắt nguồn từ sự thay đổi của các tảng băng, sự bay hơi của nước và mưa rơi. Sau cùng nhưng không phải là ít nhất, các dòng chảy bên trong Trái đất, cả trong lớp mantle lẫn trong phần lõi, cũng làm thay đổi chuyển động quay. Động đất, chuyển động mảng, sự hồi phục của thạch quyển hậu băng hà và sự phun trào của núi lửa đều ảnh hưởng đến chuyển động quay của Trái đất.

Nhưng tại sao Trái đất lại quay? Chuyển động quay bắt nguồn từ các đám mây khí quay tròn lúc khởi đầu của Thái dương hệ. Mối liên hệ này giải thích cho việc Mặt trời và các hành tinh, trừ 2, đều quay quanh trục của chúng theo cùng một hướng, và các hành tinh chuyển động quanh Mặt trời cũng có cùng một hướng. Nhưng trọn vẹn câu Xem 120 chuyện lại nằm ngoài phạm vi của quyển sách này.

Chuyển động quay quanh trục không phải là chuyển động duy nhất của Trái đất; nó còn thực hiện các chuyển động khác. Người ta đã biết điều này từ lâu. Vào năm 128 BCE, thiên văn gia Hy Lạp Hipparchos đã khám phá ra *sự tiến động (của phân điểm)*. Ông so sánh một số đo mà ông đã tìm được với một số đo trước đó 169 năm. Hipparchos nhận thấy rằng trục của Trái đất hướng vào các ngôi sao khác nhau tại các thời điểm khác nhau. Ông kết luận rằng bầu trời đang chuyển động. Ngày nay ta lại thích nói rằng trục Câu đố 271 e Trái đất chuyển động. (Tại sao?) Trong một chu kỳ 25 800 năm trục này vẽ ra một hình nón với góc đỉnh là 23.5°. Chuyển động này như ta thấy trong Hình 107, được tạo ra do lực thuỷ triều của Mặt trăng và Mặt trời tác dụng lên chỗ phình ở xích đạo của Trái đất mà kết quả là làm cho Trái đất có dạng dẹt. Mặt trời và Mặt trăng cố chỉnh cho trục Trái đất vuông góc với quỹ đạo của nó; moment lực này tạo ra sự tiến động của trục Trái đất.

Tiến động là chuyển động thường gặp ở các hệ thống quay: nó xuất hiện trong các hành tinh, con quay và nguyên tử. (Tiến động cũng là nền tảng của chuyển động kỳ lạ của bánh xe treo ở Trang 244.) Ta dễ thấy sự tiến động ở con quay, có treo lên hoặc không. Một thí dụ được trình bày trong Hình 108; đối với hạt nhân nguyên tử hay hành tinh, bạn chỉ cần tưởng tượng dây treo biến mất và vật quay ít dẹt hơn. Trên Trái đất, sự tiến động dẫn tới sự trồi lên của nước ở dưới sâu của Đại tây dương tại vùng xích đạo và sự thay đổi sinh thái của tảo một cách đều đặn.

Ngoài ra, trục của Trái đất cũng không cố định đối với mặt đất. Năm 1884, bằng cách đo chính xác góc ở trên chân trời của thiên bắc cực, Friedrich Küstner (1856–1936) nhận



HÌNH 107 Sự tiến động và chương động của trục quay Trái đất.

thấy rằng trục của Trái đất *chuyển động* đối với vỏ Trái đất, như Bessel đã nói 40 năm trước đó. Từ khám phá của Küstner, International Latitude Service đã được thành lập. *Chuyển động của địa cực* mà Küstner đã khám phá hoá ra gồm có 3 phần: một dịch chuyển thẳng nhỏ – chưa được tìm hiểu – chuyển động ellipse hằng năm do sự thay đổi theo 4 mùa của các khối không khí và nước, và chuyển động tròn * với chu kỳ khoảng 1.2 năm do sự thăng giáng áp suất ở đáy đại dương. Trong thực tế, Bắc cực chuyển động với Xem 121 biên độ khoảng 15 m quanh một vị trí trung bình, như ta thấy trong Hình 109. Người ta cũng đã đo được sự biến đổi ngắn hạn của vị trí Bắc cực, bắt nguồn từ các biến đổi áp Xem 122 suất khí quyển địa phương, từ sự thay đổi thời tiết và từ thuỷ triều.Độ chính xác cao của hệ GPS chỉ có thể đạt được nhờ vị trí chính xác của trục quay Trái đất; và chỉ cần điều này các vệ tinh nhân tạo đã được hướng dẫn tới Hoả tinh và các hành tinh khác.

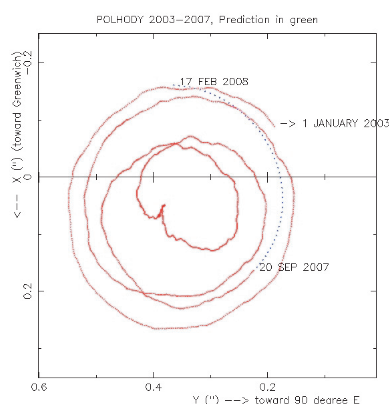
Chuyển động của Trái đất đã được nghiên cứu kỹ càng. Bảng 25 cho ta một tổng quan về kiến thức và độ chính xác mà hiện nay ta đang có.

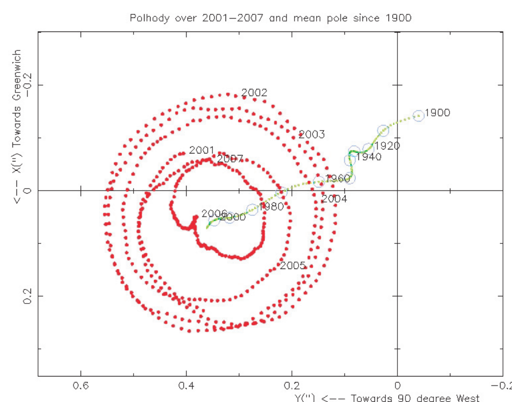
Năm 1912, nhà khí tượng học và địa vật lý Alfred Wegener (1880–1930) đã khám phá một hiệu ứng còn lớn hơn nữa. Sau khi nghiên cứu hình dạng của các thềm lục địa và

* Chuyển động tròn, chuyển động lắc lư, đã được toán gia vĩ đại Thuỵ Sĩ Leonhard Euler (1707–1783) tiên đoán. Trong một câu chuyện đáng kinh tởm, bằng cách dùng các tiên đoán của Euler và Bessel, số liệu của Küstner, năm 1891 Seth Chandler đã tuyên bố mình là người khám phá ra chuyển động tròn.



HÌNH 108 Sự tiến động của con quay treo trên dây (mpg film © Lucas Barbosa)

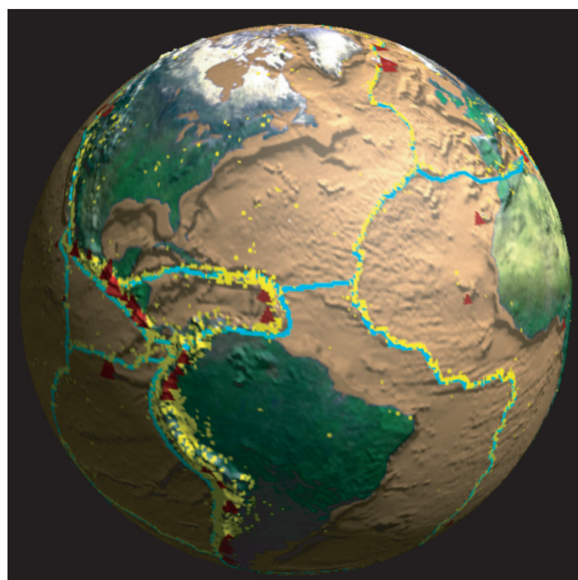




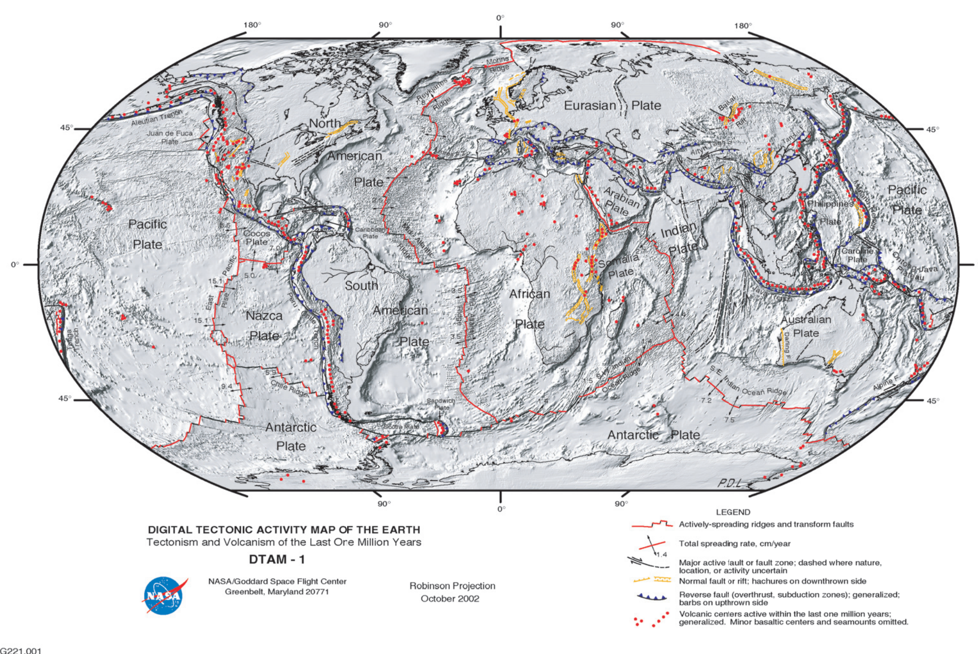
HÌNH 109 Chuyển động của Bắc cực – đại khái là polhode hiệu dụng của Trái đất – từ 2003 tới 2007, bao gồm sự tiên đoán cho tới năm 2008 (hình bên trái) và vị trí trung bình từ năm 1900 (hình bên phải) – 0.1 s hay khoảng 3.1 m trên mặt đất – không cho thấy sự biến thiên hằng ngày và nửa ngày là 1/1000 s do thuỷ triều (from hpiers.obspm.fr/eop-pc).

các địa tầng ở cả 2 bên Đại Tây Dương, ông đã đưa ra giả thuyết lục địa *chuyển động* và tất cả chúng đều là các phần của một lục địa duy nhất vỡ ra cách nay 200 triệu năm.*

* Trong lục địa cổ này, được gọi là Gondwanaland, có một con sông khổng lồ chảy về phía Tây từ Chad tới Guayaquil ở Ecuador. Sau khi lục địa này tách ra, con sông này vẫn còn chảy về phía Tây. Khi dãy Andes xuất hiện, nước bị chặn lại, và nhiều triệu năm sau đó, nó đảo dòng. Ngày nay, con sông này vẫn còn chảy về phía Đông: nó là sông Amazon.

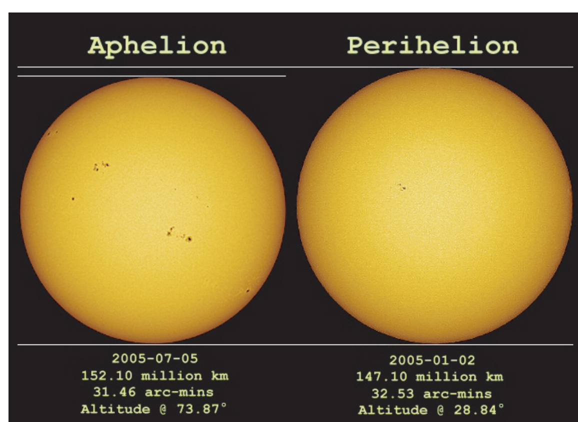


HÌNH 110 Các mảng lục địa là các vật thể của chuyển động kiến tạo (HoloGlobe project, NASA).



HÌNH 111 Các mảng kiến tạo của Trái đất, với tốc độ tương đối ở các đường biên. (© NASA)

Dù ban đầu bị chế nhạo trên khắp thế giới, khám phá của Wegener là đúng. Các phép đo bằng vệ tinh hiện đại, được trình bày trong Hình 110, khẳng định cho mô hình này. Mỗi năm lục địa châu Mỹ chuyển động ra xa lục địa châu Âu khoảng 23 mm, như ta thấy trong Hình 111. Cũng có những suy đoán là vận tốc này có thể lớn hơn ở một vài thời



HÌNH 112 Kích thước góc của Mặt trời thay đổi do chuyển động theo đường ellipse của Trái đất (© Anthony Ayiomamitis).



HÌNH 113 Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846).

kỳ nào đó trong quá khứ. Cách kiểm tra điều này là khảo sát độ từ hoá của các đá trầm tích. Hiện nay đây vẫn còn là chủ đề nghiên cứu sôi nổi. Theo phiên bản hiện đại của mô hình, được gọi là *kiến tạo mảng*, các lục địa (với mật độ $2.7 \cdot 10^3$ kg/m^3) sẽ nổi trên Trang 127 mantle lỏng của Trái đất (có mật độ $3.1 \cdot 10^3$ kg/m^3) giống như các mảnh nút chai trên mặt nước, và chuyển động đối lưu trong mantle cung cấp cơ chế vận hành cho chuyển Quyển III, Trang 221 động.

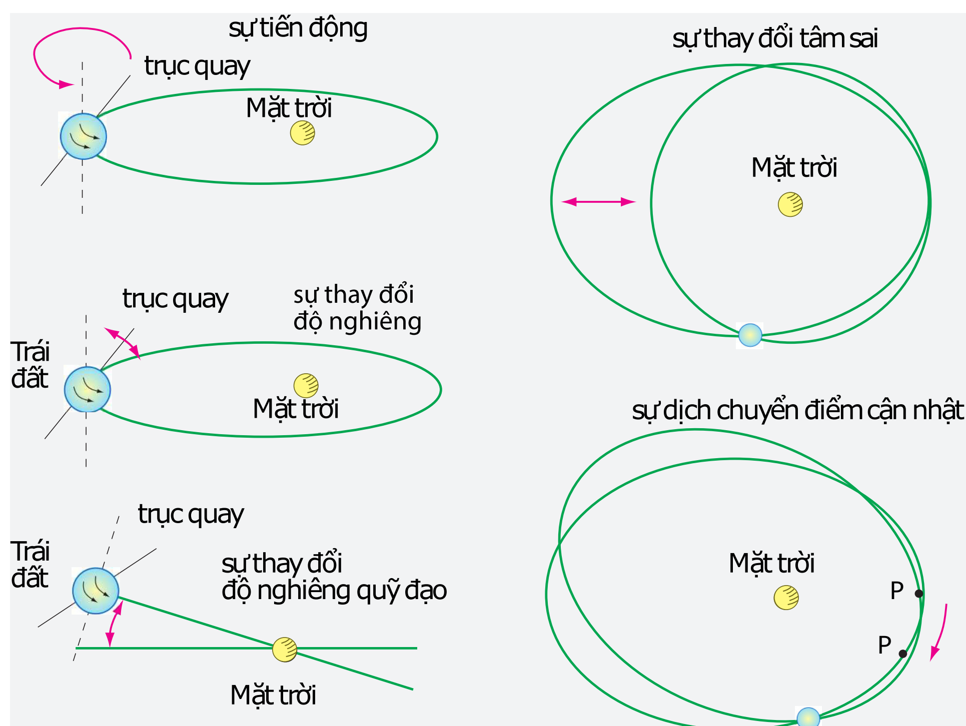
Trái đất có chuyển động không?

Tâm của Trái đất cũng không đứng yên trong vũ trụ. Trong thế kỷ thứ 3 BCE Aristarchus of Samos đã cho rằng Trái đất quay quanh Mặt trời. Những thí nghiệm như trong Hình 112 khẳng định rằng quỹ đạo của Trái đất là một ellipse. Tuy vậy, khó khăn cơ bản của hệ nhật tâm là từ lâu các ngôi sao trông giống như nhau. Tại sao lại như vậy nếu Trái đất chuyển động quanh Mặt trời? Người ta đã biết khoảng cách giữa Trái đất và Mặt trời từ thế kỷ 17 nhưng chỉ đến năm 1837 Friedrich Wilhelm Bessel* đã trở thành người đầu tiên quan sát được *thị sai* của một ngôi sao. Đây là kết quả của các phép đo cực kỳ thận trọng và các tính toán phức tạp: ông đã khám phá *hàm Bessel* để thực hiện việc đo

* Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846), thiên văn gia Đức người đã từ bỏ sự nghiệp kinh doanh thành công để cống hiến đời mình cho các vì sao và trở thành thiên văn gia hàng đầu của thời đại.

BẢNG 25 Số liệu hiện tại về chuyển động của Trái đất (từ hpiers.obspm.fr/eop-pc).

Biến động lực	Ký hiệu	Giá trị
Vận tốc góc trung bình của Trái đất	Ω	72.921 150(1) µrad/s
Vận tốc góc danh định của Trái đất (thời kỳ 1820)	Ω_N	72.921 151 467 064 µrad/s
Ngày Mặt trời trung bình theo quy ước (thời kỳ 1820)	d	86 400 s
Ngày sidus theo quy ước	d_{si}	86 164.090 530 832 88 s
Tỷ số ngày Mặt trời trung bình/ngày sidus	$k = d/d_{si}$	1.002 737 909 350 795
Ngày sao theo quy ước	d_{st}	86 164.098 903 691 s
Tỷ số ngày Mặt trời trung bình/ngày sao	$k' = d/d_{st}$	1.002 737 811 911 354 48
Tiến động kinh độ tổng quát	p	5.028 792(2) ″/a
Độ nghiêng của hoàng đạo (thời kỳ 2000)	ε_0	23° 26′ 21.4119″
Chu kỳ Küstner-Chandler trong hệ quy chiếu Trái đất	T_{KC}	433.1(1.7) d
Hệ số phẩm chất của cực đại Küstner-Chandler	Q_{KC}	170
Chu kỳ chương động của lõi tự do trong hệ quy chiếu vũ trụ	T_F	430.2(3) d
Hệ số phẩm chất của chương động của lõi tự do	Q_F	$2 \cdot 10^4$
Đơn vị thiên văn	AU	149 597 870.691(6) km
Năm sidus (thời kỳ 2000)	a_{si}	365.256 363 004 d = 365 d 6 h 9 min 9.76 s
Năm chí tuyến	a_{tr}	365.242 190 402 d = 365 d 5 h 48 min 45.25 s
Chu kỳ Mặt trăng trung bình	T_M	27.321 661 55(1) d
Bán kính xích đạo Trái đất	a	6 378 136.6(1) m
Moment quán tính xích đạo 1	A	$8.0101(2) \cdot 10^{37}$ kg m²
Kinh độ của trục quán tính chính A	λ_A	−14.9291(10)°
Moment quán tính xích đạo 2	B	$8.0103(2) \cdot 10^{37}$ kg m²
Moment quán tính theo trục	C	$8.0365(2) \cdot 10^{37}$ kg m²
Moment quán tính xích đạo của mantle	A_m	$7.0165 \cdot 10^{37}$ kg m²
Moment quán tính theo trục của mantle	C_m	$7.0400 \cdot 10^{37}$ kg m²
Độ dẹt của Trái đất	f	1/298.25642(1)
Độ dẹt động lực thiên văn của Trái đất	$h = (C - A)/C$	0.003 273 794 9(1)
Độ dẹt động lực địa vật lý của Trái đất	$e = (C - A)/A$	0.003 284 547 9(1)
Độ dẹt động lực của lõi Trái đất	e_f	0.002 646(2)
Số hạng thứ 2 trong thế hấp dẫn của Trái đất	$J_2 = -(A + B - 2C)/(2MR^2)$	$1.082\,635\,9(1) \cdot 10^{-3}$
Tốc độ trường kỳ của J_2	dJ_2/dt	$-2.6(3) \cdot 10^{-11}$ /a
Số Yêu (đo độ biến dạng do thuỷ triều)	k_2	0.3
Số Yêu trường kỳ	k_s	0.9383
Trọng lực xích đạo trung bình	g_{eq}	9.780 3278(10) m/s²
Hằng số hấp dẫn địa tâm	GM	$3.986\,004\,418(8) \cdot 10^{14}$ m³/s²
Hằng số hấp dẫn nhật tâm	$GM_\odot$	$1.327\,124\,420\,76(50) \cdot 10^{20}$ m³/s²
Tỷ khối Mặt trăng / Trái đất	μ	0.012 300 038 3(5)



HÌNH 114 Các thay đổi trong chuyển động của Trái đất quanh Mặt trời khi được nhìn từ các quan sát viên khác nhau bên ngoài mặt phẳng quỹ đạo.

đạc. Ông nhận thấy ngôi sao 61 Cygni có vị trí biểu kiến thay đổi theo tháng trong năm. Nếu quan sát cả năm, ngôi sao vẽ ra một ellipse nhỏ trên bầu trời, với góc mở 0.588″ (đây là số liệu hiện nay). Sau khi loại bỏ mọi giải thích khả hữu khác, ông kết luận rằng sự thay đổi vị trí bắt nguồn từ chuyển động của Trái đất quanh Mặt trời, khi được nhìn từ các ngôi sao ở xa. Từ kích thước của ellipse ông xác định được khoảng cách tới ngôi sao là 105 Pm, hay 11.1 năm ánh sáng. Câu đố 272 s

Bessel đã thành công, lần đầu tiên, trong việc đo khoảng cách tới một ngôi sao. Khi làm được điều đó ông cũng đã chứng minh rằng Trái đất không cố định đối với ngôi sao trên bầu trời. Chuyển động của Trái đất không làm cho ta ngạc nhiên. Nó đã khẳng định kết quả của hiện tượng tinh sai đã đề cập, do James Bradley khám phá năm 1728 * và sẽ được bàn đến sau đây. Quyển II, trang 19 Khi được nhìn từ bầu trời, Trái đất thực sự chuyển động quanh Mặt trời.

Nhờ kính thiên văn được cải tiến, người ta khám phá thêm các chuyển động khác của Trái đất. Năm 1748, James Bradley loan báo có một *thay đổi* nhỏ đều đặn trong sự tiến động, mà ông gọi là *chương động*, với chu kỳ 18.6 năm với biên độ góc là 19.2″. Chương động xuất hiện vì mặt phẳng quỹ đạo của Mặt trăng quanh Trái đất không trùng với mặt

* James Bradley (b. 1693 Sherborne , d. 1762 Chalford), là một thiên văn gia nổi tiếng. Ông là một trong các nhà thiên văn đầu tiên tìm hiểu về giá trị của các phép đo chính xác và hiện đại hoá hoàn toàn thiên văn đài Greenwich. Ông đã khám phá, độc lập với Eustachio Manfredi, hiện tượng tinh sai và dùng nó để chứng minh Trái đất chuyển động. Đặc biệt, khám phá này cho phép ông đo tốc độ ánh sáng và khẳng định giá trị đó là 0.3 Gm/s. Sau đó ông đã khám phá sự chương động của trục Trái đất.

phẳng quỹ đạo của Trái đất quanh Mặt trời. Bạn có thể chứng minh điều này đã tạo ra
Câu đố 273 e chương động hay không?

Các thiên văn gia cũng khám phá ra rằng độ nghiêng 23.5° – hay *độ xiên* – của trục Trái đất, góc giữa moment động lượng riêng và moment động lượng quỹ đạo, thực sự thay đổi từ 22.1° tới 24.5°với chu kỳ 41 000 năm. Chuyển động này bắt nguồn từ lực hút của Mặt trời và vì hình dạng của Trái đất không phải là hình cầu. Năm 1941, trong đệ nhị thế chiến, thiên văn gia Serbie, Milutin Milankovitch (1879–1958) đã ẩn mình trong sự cô đơn và tìm hiểu các hệ quả này. Trong công trình của mình, ông đã hiểu rằng chu kỳ 41 000 năm của độ nghiêng, cùng với chu kỳ trung bình 22 000 năm là do sự tiến động,* đã gây ra tới hơn 20 *thời kỳ băng hà* trong 2 triệu năm qua. Điều này xảy ra thông qua sự chiếu sáng mạnh hay yếu của Mặt trời trên các cực. Lượng băng tan thay đổi sẽ làm thay đổi nhiệt độ trung bình. Thời kỳ băng hà cuối có cực đại cách nay khoảng 20 000 năm và kết thúc cách nay khoảng 11 800 năm; giai đoạn kế tiếp vẫn còn xa. Một sự xác nhận ngoạn mục về mối liên hệ giữa chu kỳ thời kỳ băng hà và thiên văn học có được nhờ sự đo đạc tỷ số đồng vị oxygen trong lõi băng và các trầm tích ở biển, đã giúp ta tìm được
Xem 124 nhiệt độ trung bình trong hàng triệu năm qua. Hình 115 cho ta thấy rõ sự phụ thuộc của nhiệt độ vào các thay đổi trong sự chiếu xạ bắt nguồn từ sự thay đổi độ nghiêng và tiến động .

Tâm sai của quỹ đạo Trái đất cũng thay đổi theo thời gian, từ tròn tới hình bầu dục và ngược lại. Tuy vậy việc này xảy ra theo những cách rất phức tạp, không có chu kỳ đều đặn và nó bắt nguồn từ ảnh hưởng của các hành tinh lớn trong Thái dương hệ lên quỹ đạo Trái đất. Thời gian điển hình là từ 100 000 tới 125 000 năm.

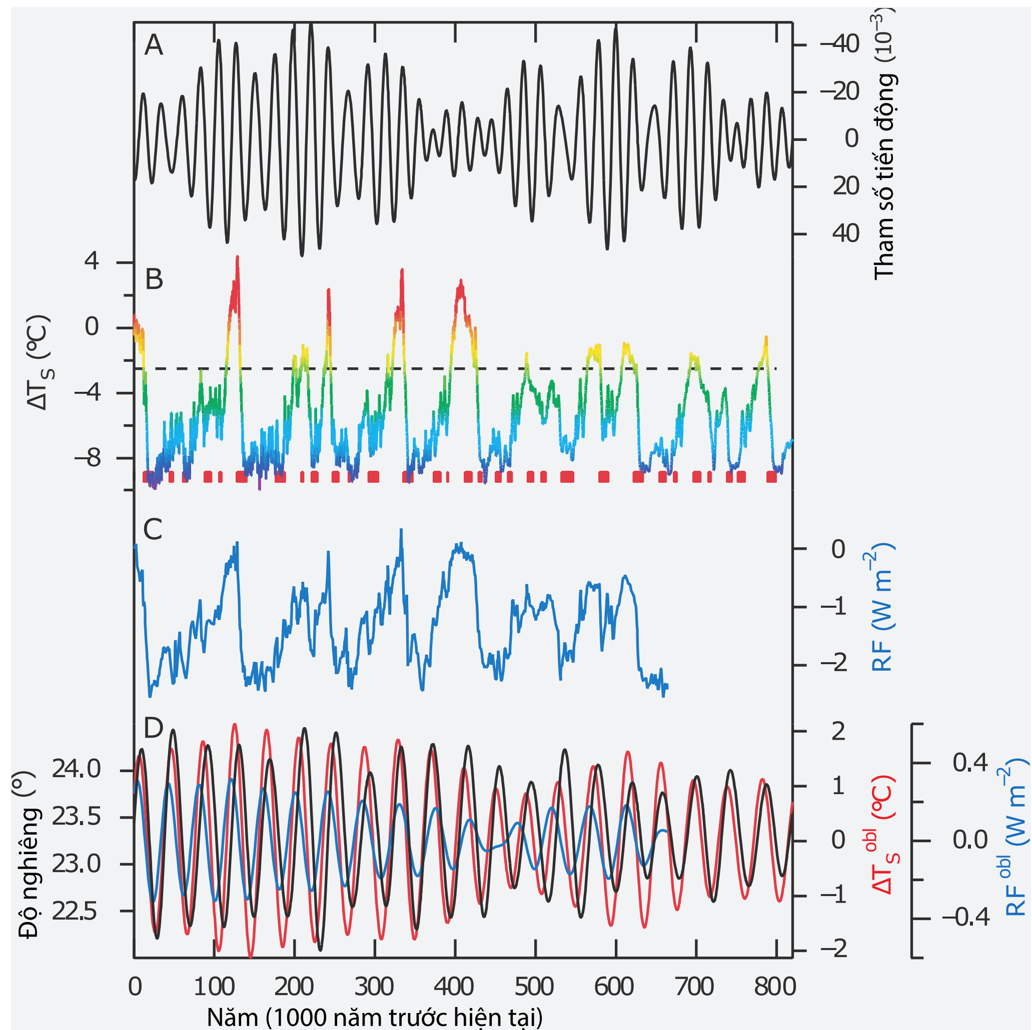
Ngoài ra, quỹ đạo Trái đất còn thay đổi *độ nghiêng* đối với quỹ đạo của các hành tinh khác; điều này hình như xảy ra một cách đều đặn mỗi 100 000 năm. Trong chu kỳ này, độ nghiêng thay đổi từ +2.5° tới −2.5° và ngược lại.

Ngay cả hướng của ellipse cũng thay đổi theo thời gian. Hiện tượng này được gọi là *sự dịch chuyển điểm cận nhật* phần lớn bắt nguồn từ ảnh hưởng của các hành tinh khác; phần nhỏ còn lại này sẽ là phần quan trọng trong chương về Thuyết tương đối tổng quát. Sự dịch chuyển của điểm cận nhật của Thuỷ tinh là dữ liệu đầu tiên khẳng định cho lý thuyết của Einstein.

Hiển nhiên là chiều dài của năm cũng thay đổi theo thời gian. Độ thay đổi đo được vào khoảng vài phần $1/10^{11}$ hay khoảng 1 ms/năm. Tuy vậy, hiểu biết về các thay đổi này và nguồn gốc của chúng còn ít ỏi so với sự thay đổi trong chuyển động quay của Trái đất.

Bước kế tiếp là xem Mặt trời có chuyển động hay không. Câu trả lời là có. Nó chuyển động với tốc độ 19.4 km/s hướng về chòm sao Hercules. Điều này đã được William Herschel chứng minh năm 1783. Nhưng xét tổng quát, chuyển động của nó còn thú vị hơn nữa. Đường kính của Ngân hà ít nhất là 100 000 năm ánh sáng, và chúng ta cách tâm của nó là 26 000 năm ánh sáng. (Người ta đã biết điều này từ năm 1918; tâm Ngân hà được định vị theo hướng chòm sao Cung thủ.) Ở vị trí của chúng ta, Ngân hà có bề dày 1 300 năm ánh sáng; hiện nay ta đang ở phía 'trên' mặt phẳng của tâm Ngân hà 68
Xem 125 năm ánh sáng. Mặt trời và Thái dương hệ, cần khoảng 225 triệu năm để đi 1 vòng quanh tâm Ngân hà, vận tốc của nó trên quỹ đạo vào khoảng 220 km/s. Hình như Mặt trời tiếp

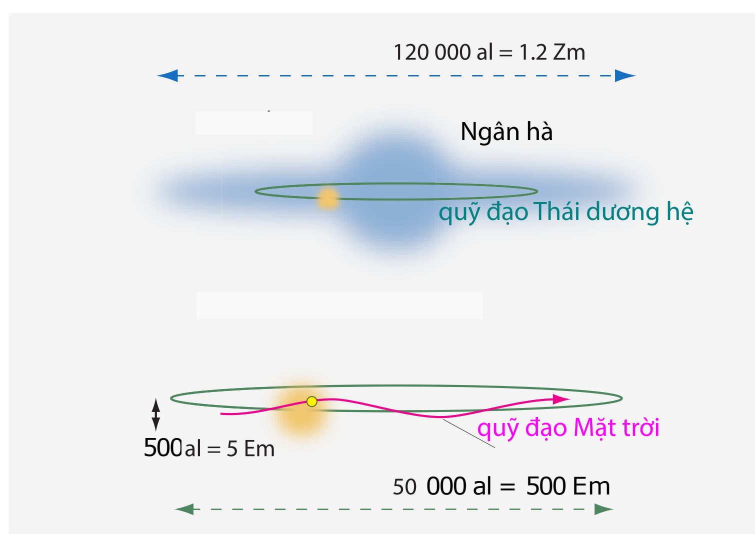
* Đúng ra, sự tiến động trong 25 800 năm dẫn tới 3 chu kỳ 23 700, 22 400 và 19 000 năm, bắt nguồn từ sự tương tác giữa tiến động và sự dịch chuyển điểm cận nhật.



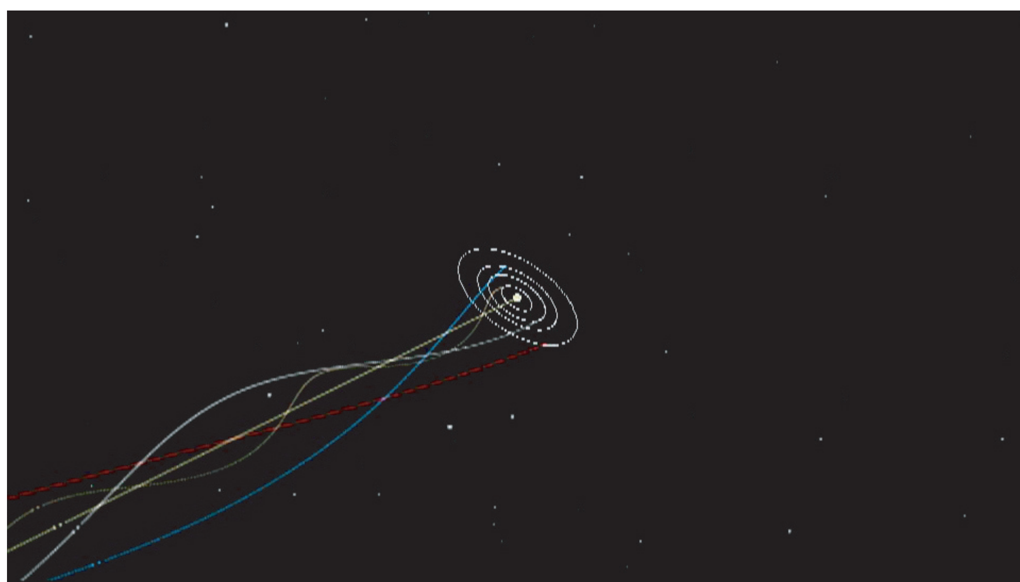
HÌNH 115 Các số đo hiện tại cho ta thấy ảnh hưởng của tham số tiến động của Trái đất (đường cong đen A) và độ nghiêng (đường cong đen D) đến nhiệt độ trung bình (đường cong màu B) và sự chiếu xạ Trái đất (đường cong xanh C) trong 800 000 năm qua: độ nghiêng được suy ra bằng giải tích Fourier từ dữ liệu chiếu xạ RF (đường cong xanh D) và độ nghiêng được suy ra bằng giải tích Fourier từ nhiệt độ (đường cong đỏ D) phù hợp với độ nghiêng đã biết từ dữ liệu thiên văn (đường cong đen D); các biến cố lạnh đột ngột xảy ra khi độ nghiêng tăng lên trong khi tham số tiến động giảm xuống (các dấu đỏ bên dưới đường cong nhiệt độ) (© Jean Jouzel/Science from Xem 124).

tục di chuyển ra xa mặt phẳng Ngân hà đến vị trí trên mặt phẳng này 250 năm ánh sáng rồi quay trở lại, như trong Hình 116. Chu kỳ dao động khoảng 62 triệu năm và đã được xem là nguyên nhân sự tuyệt chủng hàng loạt của động vật trên Trái đất, có thể vì một số đám mây khí hay các nguồn bức xạ vũ trụ gặp nhau một cách tuần hoàn theo cách này. Vấn đề này vẫn được nghiên cứu một cách sôi nổi.

Chuyển động của Mặt trời quanh tâm Ngân hà khiến cho ta thấy các hành tinh của Thái dương hệ tạo thành các đường xoắn ốc quanh Mặt trời. Hình 117 minh hoạ các



HÌNH 116 Chuyển động của Mặt trời trong Ngân hà.



HÌNH 117 Chuyển động hình xoắn ốc của 4 hành tinh đầu tiên quanh quỹ đạo Mặt trời khi nó du hành chung quanh tâm Ngân hà. Nâu: Thuỷ tinh, Trắng: Kim tinh, xanh: Trái đất, đỏ: Hoả tinh. (QuickTime film © Rhys Taylor at www.rhysy.net).

đường xoắn ốc này.

Chúng ta quay quanh tâm Ngân hà vì sự tạo thành các thiên hà, giống như sự tạo thành các hệ hành tinh, luôn xảy ra trong các luồng xoáy. Ngoài ra, bạn có thể tự khẳng định từ quan sát riêng của mình rằng Ngân hà đang quay không? Câu đố 274 s

Sau cùng, ta có thể thắc mắc là Ngân hà có chuyển động hay không. Thật ra chuyển động của nó có thể quan sát được vì ta có thể thêm vào chuyển động của Mặt trời xuyên qua vũ trụ, tức là chuyển động đối với bức xạ nền vũ trụ. Vận tốc của chuyển động này là



Trang 206
HÌNH 118 Lái xe xuyên qua các bông tuyết cho ta thấy hiệu ứng của chuyển động tương đối trong không gian 3 chiều. Ta sẽ thấy hiệu ứng tương tự khi Trái đất lao nhanh trong vũ trụ. (© Neil Provo at neilprovo.com).

Xem 126
370 km/s. (Vận tốc của *Trái đất* xuyên qua bức xạ nền dĩ nhiên phụ thuộc vào các mùa.) Chuyển động này là tổ hợp của chuyển động Mặt trời quanh tâm Ngân hà và chuyển động của chính Ngân hà. Chuyển động sau bắt nguồn từ lực hấp dẫn của các thiên hà lân cận khác trong nhóm thiên hà địa phương của chúng ta.*

Tóm lại, Trái đất thực sự chuyển động và nó chuyển động theo nhiều cách phức tạp. Như Henri Poincaré đã nói, nếu hôm nay ta ở một điểm đã cho, thí dụ như Panthéon ở Paris, và ngày mai ta trở lại đúng điểm đó vào cùng một giờ, thì ta đã đi được 31 triệu km. Điều này khiến cho việc du hành trong thời gian cực kỳ khó cho dù nó có thể (thực ra là không); khi bạn trở ngược lại quá khứ, bạn sẽ phải trở lại đúng điểm cũ!

Vận tốc có tuyệt đối không? – Thuyết tương đối thông thường

Tại sao ta không cảm thấy mọi chuyển động của Trái đất? Hai phần của câu trả lời đã có năm 1632. Trước tiên, như Galilei đã giải thích, ta không cảm thấy gia tốc của Trái đất vì tác dụng mà chúng tạo ra quá nhỏ nên ta không thể nhận ra được bằng các giác quan. Thật vậy, nhiều gia tốc mà ta đã đề cập chỉ gây ra các tác dụng đo được trong các thí nghiệm có độ chính xác cao, thí dụ như trong đồng hồ nguyên tử.

Quyển II, trang 160
Nhưng đóng góp thứ 2 của Galilei cũng quan trọng không kém: ta không thể cảm thấy tốc độ mà ta đang chuyển động. Ta không thể cảm thấy chuyển động tĩnh tiến không

* Điều này gần giống như là cuối của một cái thang. Nên nhớ rằng sự giãn nở của vũ trụ, được nghiên cứu sau, không tạo ra chuyển động.

gia tốc vì điều này thuộc về *nguyên tắc*. Galilei bàn luận về vấn đề này bằng cách so sánh sự quan sát của 2 quan sát viên: một người trên mặt đất và một người trên một phương tiện vận chuyển không có gia tốc, hiện đại nhất vào thời đó, tàu thuỷ. Galilei muốn biết là người trên mặt đất và người trên tàu di chuyển với tốc độ không đổi có trải nghiệm (hay 'cảm nhận') điều gì khác nhau không. Einstein sử dụng quan sát viên trong xe lửa. Sau này nó trở thành phong trào sử dụng du khách trên hoả tiễn. (Kế đó sẽ là phương tiện gì?) Galilei giải thích rằng chỉ có vận tốc *tương đối* giữa các vật thể tạo ra hiệu ứng chứ không phải các giá trị tuyệt đối của vận tốc. Đối với mọi giác quan và phép đo ta nhận thấy:

Câu đố 275 e

▷ Không có sự khác nhau giữa chuyển động đều (chuyển động không bị tác động, tuy có thể nhanh) và sự đứng yên. Điều này được gọi là *Nguyên lý tương đối của Galilei*.

Thật vậy, trong đời sống thông thường ta chỉ cảm thấy chuyển động nếu phương tiện vận chuyển rung động – tức là có gia tốc – hay ta chuyển động trong không khí. Do đó Galilei kết luận rằng 2 quan sát viên chuyển động thẳng và không tác động với nhau, thì ta không thể nói được ai là người 'thực sự' chuyển động. Bất kể vận tốc tương đối của họ, không có người nào 'cảm thấy' chuyển động.*

Đứng yên là tương đối. Hay nói rõ hơn: đứng yên là một khái niệm phụ thuộc quan sát viên. Kết quả này của Vật lý Galilei quan trọng đến nỗi Poincaré diễn đạt thành 'Thuyết tương đối' và Einstein lặp lại nguyên lý này một cách tường minh khi ông công bố Thuyết tương đối đặc biệt nổi tiếng của mình. Tuy vậy, tên này thật bất tiện. Vật lý Galilei cũng là một Thuyết tương đối! Tính tương đối của đứng yên thì chung cho *mọi* môn Vật lý; nó là mặt cốt yếu của chuyển động.

Tóm lại, nếu chuyển động không bị tác động hay đều, thì không có các hiệu ứng có

* Năm 1632, trong quyển *Dialogo*, Galile đã viết: 'Hãy nhắm mắt cùng với vài người bạn trong một cabin chính dưới boong một tàu thuỷ lớn, và giữ cùng với bạn một số ruồi, bướm và một số động vật bay nhỏ khác. Lấy một tô nước lớn chứa một vài con cá; treo một chai nước nhỏ giọt vào một chậu lớn. Khi tàu đứng yên, hãy quan sát cẩn thận cách mà các con vật nhỏ bay với tốc độ như nhau đến các cạnh của cabin. Cá bơi theo mọi hướng giống như nhau; các giọt nước rơi vào chậu bên dưới; và khi ném đồ vật cho người khác, bạn ném mọi hướng mạnh như nhau nếu khoảng cách bằng nhau: khi nhảy chụm chân, bạn vượt qua các khoảng như nhau theo các hướng khác nhau. Khi bạn đã quan sát các điều này một cách cẩn thận (mặc dù rõ ràng là khi tàu đứng yên mọi điều phải xảy ra như vậy), hãy cho tàu chạy với tốc độ bạn muốn, miễn là chuyển động này đều, bạn sẽ không thấy điều gì thay đổi, cũng như không thể nói rằng tàu đang chuyển động hay đứng yên. Khi nhảy, bạn vượt qua các khoảng cách như trước, bất kể bạn nhảy về phía đuôi hay phía mũi tàu mặc dù tàu đang chuyển động khá nhanh hay trong thời gian bạn đang ở trên không, sàn tàu chuyển động ngược với hướng bạn nhảy. Khi ném đồ vật cho người khác, bạn không cần ném mạnh hơn bất kể người đó ở phía đuôi hay đầu tàu. Các giọt nước vẫn rơi như trước không hướng về phía đuôi tàu mặc dù khi giọt nước rơi tàu đã chạy được một khoảng. Cá trong nước sẽ bơi về phía trước mà không cần nỗ lực nhiều hơn khi bơi về phía sau và bơi về mọi phía đặt mồi trong tô với sự dễ dàng như nhau. Sau cùng bướm và ruồi sẽ tiếp tục bay về mọi phía như nhau, chúng không bị tập trung về phía đuôi tàu giống như bị mệt vì phải bay theo tàu, hay vì bị tách ra trong một thời gian dài để bay trong không khí. Và nếu có khói do một vật bị đốt toả ra, nó sẽ bay thẳng lên dưới dạng một đám mây nhỏ, đứng yên và không hướng về một phía nào cả. Nguyên nhân của tất cả các hiệu ứng này là vì chuyển động của tàu thì chung cho mọi vật chứa trong nó kể cả không khí. Đó là lý do tại sao tôi đã nói với bạn nên ở dưới boong tàu; vì nếu điều này xảy ra trên boong ngoài trời, ít nhiều gì cũng có sự khác biệt đáng kể có thể nhận ra được do một số hiệu ứng gây ra.' (Bản dịch của Stillman Drake)

thể quan sát được; chỉ có *sự thay đổi* chuyển động là có các hiệu ứng. Ta không thể cảm thấy vận tốc; nhưng có thể cảm thấy gia tốc. Kết quả là, mọi vật lý gia đều có thể suy ra những điều đơn giản về phát biểu của Wittgenstein sau đây:

> Daß die Sonne morgen aufgehen wird, ist eine Hypothese; und das heißt: wir *wissen* nicht, ob sie aufgehen wird.*

Mệnh đề này *sai*. Bạn có thể giải thích tại sao ở đây Wittgenstein sai mặc dù niềm mong ước cháy bỏng của ông thì không?

Câu đố 276 s

Chuyển động quay có tương đối không?

Khi ta quay nhanh, cánh tay ta nhấc lên. Tại sao điều này lại xảy ra? Làm cách nào chúng ta phát hiện ra chuyển động quay của cơ thể? Có 2 cách trả lời. Cách thứ nhất, của Newton, là nói rằng có một không gian tuyệt đối; khi ta quay đối với không gian này, hệ thống sẽ phản ứng lại. Cách thứ 2 là ta nhận thấy rằng khi cánh tay đưa lên, các ngôi sao cũng quay trong tình trạng giống như vậy. Nói cách khác, cơ thể ta phát hiện chuyển động quay vì ta chuyển động đối với sự phân bố khối lượng trung bình trong không gian.

Lập luận được trích dẫn nhiều nhất là của Newton. Thay vì cánh tay, ông nghiên cứu nước trong một cái xô quay tròn. Trong xô quay tròn này, mặt nước là một mặt cong lõm, trong khi nếu xô không quay thì mặt nước là mặt phẳng. Newton tự hỏi tại sao lại như vậy. Như thường lệ, đối với các vấn đề Triết học, câu trả lời của Newton được chủ nghĩa thần bí hướng dẫn, được khởi phát do cái chết sớm của thân phụ. Newton xem khái niệm không gian tuyệt đối là một khái niệm tôn giáo và huyền bí nên không thể hiểu theo một cách khác. Newton xem chuyển động quay là một loại chuyển động *tuyệt đối*. Phần lớn các khoa học gia hiện đại có ít vấn đề cá nhân hơn và có cảm quan bình thường hơn Newton; kết quả là, ngày nay ai cũng nhất trí là các hiệu ứng của chuyển động quay bắt nguồn từ sự phân bố khối lượng trong vũ trụ:

▷ Chuyển động quay là tương đối.

Nhiều thí nghiệm chính xác đã khẳng định kết luận này; nó cũng là một phần của Thuyết tương đối của Einstein.

Các câu đố vui và lạ về chuyển động quay và tính tương đối

Khi đi xe lửa bạn có thể kiểm chứng phát biểu của Galilei về tính tương đối của chuyển động. Nhắm mắt và nhờ người khác quay bạn nhiều lần: bạn có thể nói hướng mà tàu đang chạy không?

Câu đố 277 e

* *

Một cái cân thể trọng đặt trong phòng tắm, không cho một số đo không đổi khi bạn bước lên nó và đứng yên. Tại sao?

Câu đố 278 s

* 'Ngày mai Mặt trời sẽ mọc lên, là một giả thiết; và điều đó có nghĩa là ta *không biết* là nó có mọc hay không.' Đây là một phát biểu nổi tiếng được tìm thấy trong tác phẩm của Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 6.36311.

* *

Nếu một khẩu súng ở Xích đạo bắn 1 viên đạn theo phương thẳng đứng thì viên đạn sẽ
Câu đố 279 s rơi ở chỗ nào?

* *

Câu đố 280 s Tại sao phần lớn các nơi phóng hoả tiễn đều ở rất gần Xích đạo?

* *

Ở Xích đạo, tốc độ quay của Trái đất là 464 m/s, hay khoảng Mach 1.4; tức là 1.4 lần tốc độ âm thanh. Chuyển động siêu thanh này có 2 hệ quả thú vị.

Trước tiên, tốc độ quay xác định kích thước của các hiện tượng thời tiết. Kích thước này được gọi là *bán kính Rossby*, bằng tốc độ âm thanh (hay tốc độ điển hình khác) chia cho 2 lần tốc độ quay địa phương, nhân với bán kính Trái đất. Ở vĩ độ vừa phải, bán kính Rossby khoảng 2000 km. Đây là một phần đáng kể đối với bán kính Trái đất, nên chỉ có vài hiện tượng khí tượng lớn có mặt trên Trái đất tại những thời điểm đặc biệt. Nếu Trái đất quay chậm hơn, thời tiết sẽ được xác định bởi các dòng địa phương, ngắn ngủi và không xảy ra thường xuyên. Nếu Trái đất quay nhanh hơn, thời tiết sẽ khốc liệt hơn – giống như trên Mộc tinh – nhưng bán kính Rossby nhỏ sẽ khiến cho các cấu trúc thời tiết lớn sẽ có thời gian sống lâu dài, giống như điểm đỏ trên Mộc tinh, kéo dài nhiều thế kỷ. Xét về phương diện nào đó, chuyển động quay của Trái đất có tốc độ cho ta một thời tiết dễ chịu.

Hệ quả thứ 2 liên quan đến chiều dày của khí quyển. Mach 1, nói một cách gần đúng, cũng là tốc độ nhiệt của các phân tử không khí. Tốc độ này đủ để một phân tử không khí đi tới chiều cao đặc trưng của khí quyển, khoảng 6 km. Mặt khác, tốc độ quay Ω của Trái đất xác định độ lệch h so với cầu tính: Trái đất có tính dẹt, như ta đã thấy ở trên.
Trang 138 Nói một cách gần đúng, ta có $gh = \Omega^2 R^2/2$, hay khoảng 12 km. (Điều này đúng trong phạm vi sai số 50 %, giá trị thực là 21 km.) Như vậy ta thấy rằng tốc độ quay của Trái đất khiến cho độ dẹt của nó có thể so sánh được với chiều dày của khí quyển.

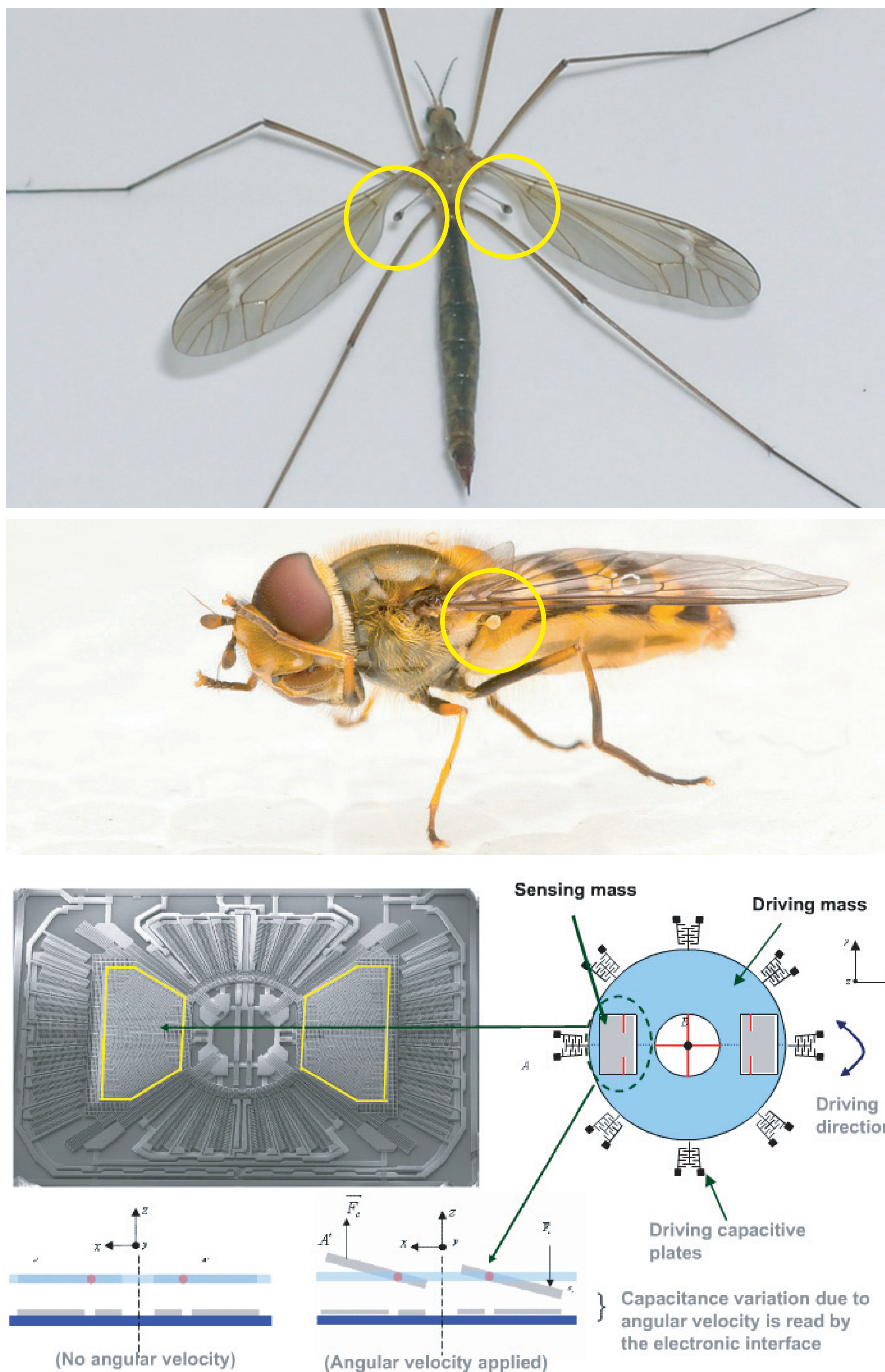
* *

Hiệu ứng Coriolis ảnh hưởng đến các dòng sông và bờ của chúng. Mối liên hệ kỳ lạ này đã được Karl Ernst von Baer thiết lập năm 1860 khi nhận ra ở Nga, nhiều con sông ở phía Bắc chảy về hạ lưu có bờ bên phải dốc và cao, còn bờ bên trái thì thấp và bằng phẳng.
Câu đố 281 e (Bạn có thể giải thích điều này không?) Ông cũng nhận ra rằng sông ở Nam bán cầu thì cho thấy hiệu ứng ngược lại.

* *

Hiệu ứng Coriolis đã cứu được nhiều sinh mạng và giúp đỡ nhiều cho con người. Thật vậy, nó có một ứng dụng quan trọng trong các hệ thống đạo hàng; các ứng dụng điển hình được trình bày trong Hình 119. Côn trùng sử dụng các khối rung động để ổn định, xác định hướng bay và tìm đường đi. Phần lớn các côn trùng 2 cánh (diptera), dùng *quả tạ rung* để điều hướng: đặc biệt là ong, ruồi nhà, ruồi ong và ruồi hạc. Các côn trùng khác, như ngài, dùng *antenne rung* để điều hướng. Xe hơi, vệ tinh, mobile phone, mô hình trực thăng điều khiển từ xa và computer game cũng sử dụng các khối rung tí hon làm các cảm biến định hướng và đạo hàng, giống như côn trùng đã làm.

Trong tất cảc các ứng dụng về đạo hàng này, có một hay vài khối nhỏ dao động; nếu



HÌNH 119 Sự ứng dụng hiệu ứng Coriolis trong côn trùng – ở đây là ruồi hạc và ruồi ong – và trong các hệ vi điện cơ (kích thước khoảng vài mm); tất cả cung cấp tín hiệu dẫn đường cho các hệ thống gắn liền với chúng (© Pinzo, Sean McCann, ST Microelectronics).

các hệ có gắn chúng quay đi, sự đổi hướng sẽ tạo ra hiệu ứng Coriolis. Hiệu ứng này có thể đo được nhờ dò ra sự thay đổi về mặt hình học; độ thay đổi tức cường độ tín hiệu phụ thuộc vận tốc góc và hướng của hệ. Các cảm biến phương hướng do đó được gọi là *con quay hồi chuyển Coriolis dao động*. Sự phát triển và sản xuất chúng là một phần quan trọng trong kinh doanh công nghệ cao – và trong sự tiến hoá sinh học.

* *

Một khách hàng giàu có và ma mãnh đã yêu cầu kiến trúc sư thiết kế và xây dựng một căn nhà có 4 bức tường đều quay về phía Nam. Kiến trúc sư sẽ thực hiện yêu cầu này
Câu đố 282 e như thế nào?

* *

Việc du hành qua không gian liên hành tinh có lợi cho sức khoẻ không? Người ta thường mơ màng về các cuộc hành trình dài trong vũ trụ. Thực nghiệm đã chứng tỏ rằng trong những cuộc hành trình kéo dài, bức xạ vũ trụ, chứng loãng xương, suy thoái cơ và các vấn đề tâm lý là các mối nguy hiểm lớn nhất. Nhiều chuyên gia y học đã đặt vấn đề về khả năng tồn tại trong các cuộc du hành không gian kéo dài nhiều năm. Các mối hiểm nguy khác là phỏng nắng khi đi gần Mặt trời và phơi mình trong chân không. Cho tới
Xem 127 nay chỉ có một người đã trải nghiệm chân không mà không có bảo vệ. Người đó mất ý thức sau 14s nhưng sống sót mà không bị nguy hại gì.

* *

Một ngọn lửa sẽ nghiêng về phía nào nếu được đốt trong một bình đặt trên một bàn
Câu đố 283 s quay tròn?

* *

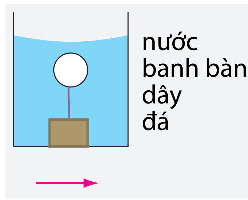
Nguyên lý tương đối thông thường của Galilei phát biểu rằng ta không thể xác định được vận tốc tuyệt đối cũng như không thể xác định được vị trí, thời gian và hướng tuyệt đối.
Câu đố 284 s Điều này có đúng không?

* *

Gia tốc ly tâm có hiện hữu không? Nhiều sinh viên đại học bị sốc khi gặp một giáo sư nói rằng nó không có vì đó là một đại lượng 'giả tưởng', trong khi đã đối diện với những điều đã trải nghiệm hằng ngày khi lái xe vào một khúc quanh. Chỉ cần yêu cầu vị giáo sư đó định nghĩa 'sự hiện hữu'. (Định nghĩa mà các vật lý gia thường sử dụng được cho sau đây.) Sau đó bạn kiểm tra xem định nghĩa có áp dụng được cho thuật ngữ đó không
Quyển III, trang 322 Câu đố 285 và quyết định.

Dù bạn có thích thuật ngữ 'gia tốc ly tâm' hay tránh nó bằng cách sử dụng từ *gia tốc hướng tâm*, bạn cũng nên biết cách tính nó. Ta sử dụng một thủ thuật đơn giản. Đối với một vật trong một chuyển động tròn có bán kính r, độ lớn v của vận tốc $\boldsymbol{v} = \mathrm{d}\boldsymbol{x}/\mathrm{d}t$ là $v = 2\pi r/T$. Vector $\boldsymbol{v}$ thay đổi theo thời gian giống như vị trị của vật: nó quay liên tục. Do đó độ lớn a của gia tốc ly tâm/hướng tâm $\boldsymbol{a} = \mathrm{d}\boldsymbol{v}/\mathrm{d}t$ được cho bởi công thức tương ứng, cụ thể là $a = 2\pi v/T$. Khử T, ta tìm được a của vật chuyển động tròn với tốc độ v bán kính r là

$$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \ . \qquad (36)$$



HÌNH 120 Banh sẽ chuyển động như thế nào khi bình được gia tốc theo hướng mũi tên?

Đây là gia tốc mà ta cảm thấy khi ngồi trên xe đi vào đường vòng.

* *

Chuyển động quay cũng làm cho người nghiên cứu nó ngạc nhiên. Moment động lượng là một đại lượng có độ lớn và hướng. Tuy vậy, nó *không phải là* một vector, vì một cái gương bất kỳ sẽ cho ta thấy điều đó. Moment động lượng của một vật quay tròn trong một mặt phẳng song song với một cái gương hành xử khác một mũi tên thông thường: ảnh của nó qua gương sẽ không phải là ảnh phản chiếu nếu nó hướng về phía gương! Bạn có thể tự kiểm chứng điều này. Vì lý do này, moment động lượng được gọi là *giả-vector*. (Chuyển động quay có phải là giả-vector không?) Điều này không có hệ quả quan trọng trong Vật lý cổ điển; nhưng ta phải ghi nhớ nó cho các phần sau này, khi ta tìm hiểu về Vật lý hạt nhân.

Câu đố 286 e
Câu đố 287 e
Trang 285
Quyển V, trang 245

* *

Cách tốt nhất để chuyên chở nhiều tách trà hay cà phê mà không làm đổ chất lỏng quý báu này?

Câu đố 288 s

* *

Một quả banh bàn được cột vào một hòn đá, toàn bộ được đặt dưới nước đựng trong một cái bình. Toàn bộ vật dụng được sắp đặt như trong Hình 120. Bây giờ bình được gia tốc theo phương ngang, thí dụ như trong một cái xe. Banh chuyển động theo hướng nào? Bạn có thể suy ra điều gì đối với một bình đứng yên?

Câu đố 289 s

* *

Mặt trăng đi lùi sau Trái đất mỗi năm 3.8 cm do ma sát. Bạn có thể tìm ra cách giải thích cho hiệu ứng này không?

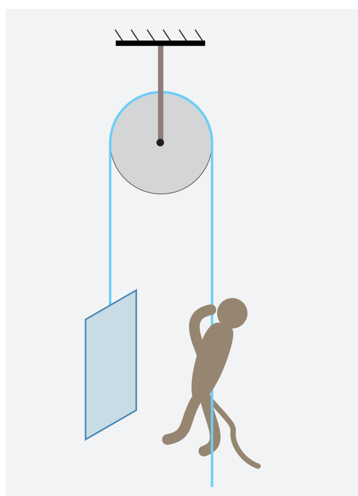
Câu đố 290 s

* *

Động đất là gì? *Động đất* là thí dụ ở tầm cỡ lớn của quá trình giống như quá trình làm cho cánh cửa kêu lên. Các mảng lục địa tương ứng với các mặt kim loại trong các bản lề cửa.

Động đất có thể xem như các nguồn năng lượng. Thang đo Richter là số đo trực tiếp của năng lượng này. *Độ Richter* M_s của một vụ động đất, một số thuần tuý, được xác định từ năng lượng E của nó, tính bằng Joule theo công thức

$$M_s = \frac{\log(E/1\,\mathrm{J}) - 4.8}{1.5} \,. \qquad (37)$$



HÌNH 121 Điều gì sẽ xảy ra khi con khỉ leo lên?

Những con số kỳ lạ trong công thức này được lựa chọn để cho các giá trị đo động đất gần với thang đo định tính Mercalli cũ (bây giờ được gọi là EMS98) dùng phân loại cường độ động đất. Tuy vậy, điều này vẫn không thể thực hiện một cách đầy đủ; dụng cụ nhạy nhất hiện nay có thể phát hiện các vụ động đất có độ lớn cỡ −3. Giá trị lớn nhất mà ta có thể đo được là 10 Richter, ở Chile năm 1960. Độ lớn trên 12 khó có khả năng xảy ra.
Câu đố 291 s Bạn có thể nói được lý do không?

* *

Một điểm trên mặt đất có Mặt trời ở trên thiên đỉnh – tức là ngay trên đỉnh đầu của nó – sẽ chuyển động như thế nào khi nhìn trên bản đồ Trái đất trong một ngày? Và ngày
Câu đố 292 ny này qua ngày kia?

* *

Có thể xảy ra trường hợp đĩa của một vệ tinh địa tĩnh TV hội tụ ánh sáng Mặt trời vào
Câu đố 293 s máy thu không?

* *

Câu đố 294 s Tại sao khó phóng hoả tiễn từ phi cơ theo hướng ngược với hướng bay của phi cơ?

* *

Một con khỉ bám trên một sợi dây. Dây quàng qua một ròng rọc và được cột với một khối lượng bằng khối lượng khỉ như ta thấy trong Hình 121. Dây và ròng rọc không khối
Câu đố 295 s lượng và không ma sát. Điều gì sẽ xảy ra khi con khỉ leo lên?

* *

Câu đố 296 s Một người trượt nước có thể chuyển động với tốc độ lớn hơn tàu kéo không?

* *

Bạn có thể biết là 'Dynabee', một con quay hồi chuyển cầm tay, có thể được gia tốc tới

một tốc độ cao bằng cách chuyển động bàn tay một cách thích hợp. Nó hoạt động như
Câu đố 297 d thế nào?

* *

Ta có thể làm một con quay bằng một cái kẹp giấy kim loại và làm cho các con quay đó
Câu đố 298 s quay trên đầu của chúng. Bạn có thể hiểu tại sao không?

* *

Moment quán tính của một vật phụ thuộc hình dạng của nó; thường thường, moment động lượng và vận tốc góc không chỉ cùng hướng. Bạn có thể khẳng định điều này bằng
Câu đố 299 s một thí dụ không?

* *

Câu đố 300 s Moment quán tính của một quả cầu thuần nhất là bao nhiêu?

* *

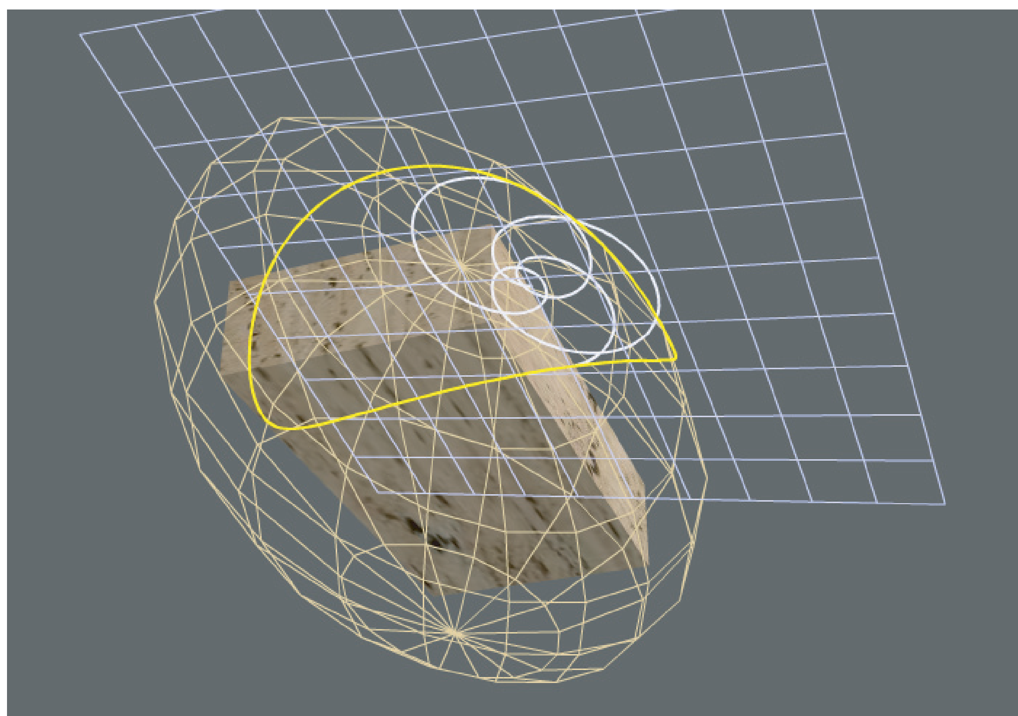
Moment quán tính của một vật rắn được xác định bằng các giá trị tính dọc theo 3 trục chính của nó. Các giá trị này bằng nhau trong trường hợp hình cầu và hình lập phương. Điều có có đồng nghĩa với việc ta không thể phân biệt hình cầu và hình lập phương về
Câu đố 301 s cách hành xử theo quán tính của chúng hay không?

* *

Đây là một số điều vui nhộn về chuyển động quay của một vật rắn. Dù là vật rắn tự do như viên gạch quay trong không gian tự do, thì vận tốc góc của nó nói chung là *không* đều: viên gạch *nhào lộn* trong khi quay. Trong chuyển động này, cả năng lượng lẫn moment động lượng đều không đổi nhưng vận tốc góc thì thay đổi. Đặc biệt, hướng của vận tốc góc cũng đổi; nói cách khác, cực Bắc thay đổi theo thời gian. Đúng ra, cực Bắc thay đổi theo thời gian đối với quan sát viên trên vật lẫn quan sát viên trong không gian tự do. Điểm ngọn của vector vận tốc góc, tức Bắc cực, chuyển động như thế nào?

Trang 276 Moment quán tính là một tensor và như vậy có thể được biểu diễn bằng một ellipsoid. Hơn nữa, chuyển động của một vật rắn tự do được mô tả, trong không gian vận tốc góc, bằng ellipsoid động năng – vì năng lượng quay của nó không đổi. Khi một vật rắn tự do chuyển động, ellipsoid năng lượng – không phải ellipsoid quán tính – *lăn* trên mặt
Câu đố 302 e phẳng bất biến vuông góc với moment động lượng ban đầu (và không đổi) của vật. Đây là mô tả toán học của chuyển động nhào lộn. Đường cong do vận tốc góc hay cực bắc của vật kéo dài, vẽ ra trên mặt phẳng bất biến được gọi là *herpolhode*. Nó là một đường cong phức tạp, kết quả của sự chồng chập của 2 chuyển động hình nón. Đối với quan sát viên trên vật quay, có một đường cong khác thú vị hơn. Cực của vật quay sẽ vẽ nên một đường cong trên ellipsoid năng lượng – gắn liền với vật. Đường cong này được gọi là *polhode*. Polhode là một đường cong đóng 3 chiều, herpolhode là một đường cong mở 2 chiều. Tên các đường cong này do Louis Poinsot đặt ra, đặc biệt hữu dụng cho việc mô tả chuyển động quay của các vật có hình dạng không đều. Để có thể hình dung một cách đầy đủ, bạn hãy ghé thăm trang web tuyệt vời www.ialms.net/sim/3d-rigid-body-simulation/.

Polhode chỉ là một vòng tròn khi vật rắn có dạng đối xứng tròn xoay; chuyển động
Trang 148 của cực lúc đó được gọi là *tiến động*; ta đã gặp chuyển động này ở phần trên. Như ta đã thấy trong Hình 109, polhode của Trái đất không có hình dạng như mong đợi; sự không



HÌNH 122 Chuyển động của vận tốc góc của một viên gạch đang nhào lộn. Ngọn của vector vận tốc góc chuyển động theo đường cong màu vàng, polhode. Nó chuyển động cùng với viên gạch, trong đó lưới ellipse biểu diễn cho ellipsoid năng lượng; herpolhode là đường cong trắng và nằm trong mặt phẳng kẻ ca rô xanh nhạt biểu diễn cho mặt phẳng bất biến (xem tài liệu). Hoạt hình phía sau ảnh chụp minh hoạ cho phát biểu chán ngắt nổi tiếng: polhode lăn không trượt trên herpolhode nằm trong mặt phẳng bất biến. Film hoạt hình đầy đủ có trên trang www.ialms.net/sim/3d-rigid-body-simulation/. Một vật rắn tự do bất kỳ, quay không đều, đều chuyển động như vậy. Đối với Trái đất, vật quay không đều, nhưng không hoàn toàn tự do cũng không rắn hoàn toàn, mô tả này chỉ có tính gần đúng. (© Svetoslav Zabunov)

đều là do có nhiều hiệu ứng, trong đó có tính không rắn của Trái đất.

Mặc dù moment động lượng của viên gạch nhào lộn tự do cố định trong không gian nhưng nó không cố định trong hệ quy chiếu gắn liền với vật. Bạn có thể chứng minh điều này không? Trong hệ quy chiếu này, ngọn của moment động lượng của viên gạch chuyển động trên một đường cong khác, là giao tuyến của một hình cầu và một ellipsoid, như Jacques Binet đã chỉ ra.

Câu đố 303 e

* *

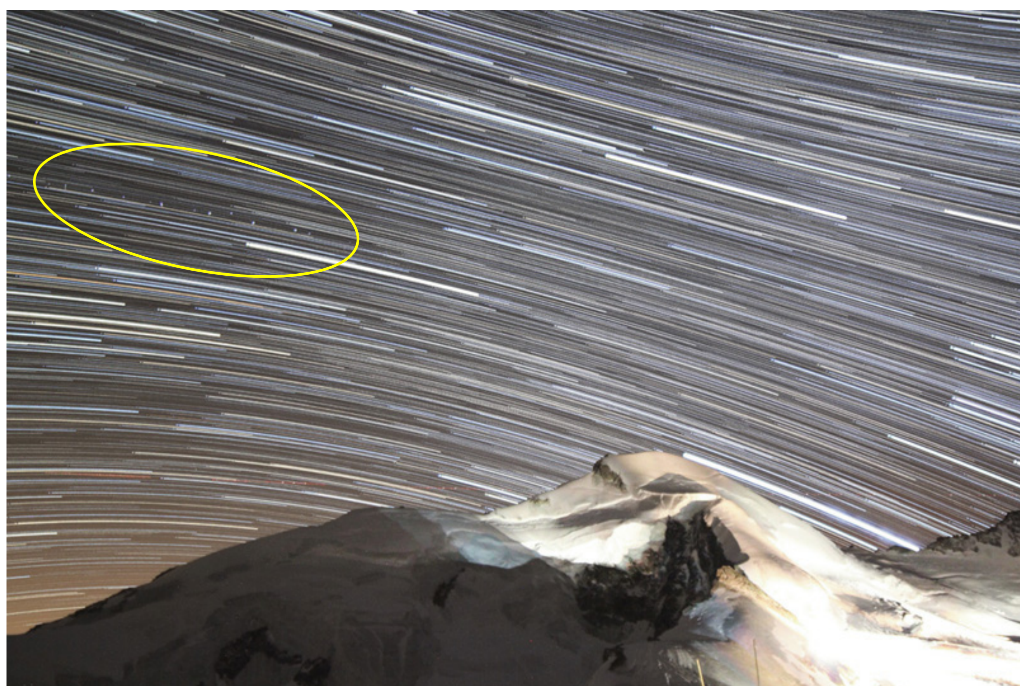
Có đúng là Trăng thượng huyền ở Bắc bán cầu trông giống như Trăng hạ huyền ở Nam bán cầu hay không?

Câu đố 304 s

* *

Một khẳng định đầy ấn tượng về việc Trái đất là một hình cầu có thể nhìn thấy lúc hoàng hôn, nếu ta quay lưng về phía Mặt trời, trái với thói quen thông thường. Trên bầu trời phía Đông ta có thể thấy bóng Trái đất mọc lên. Ta có thể thưởng ngoạn cái bóng to lớn





HÌNH 123 Ảnh phơi sáng lâu của ngôi sao vào ban đêm – một ở phía Bắc, trên kính thiên văn Gemini ở Hawaii, và một trên đỉnh Alps bao gồm Thiên xích đạo, với các vệ tinh địa tĩnh ở trên đó (© Gemini Observatory/AURA, Michael Kunze).



HÌNH 124 Bóng của Trái đất – đây là một ảnh toàn cảnh chụp ở Nam cực – chứng tỏ rằng Trái đất tròn (© Ian R. Rees).

trùm lên cả chân trời, rõ ràng là một phần của một hình tròn khổng lồ. Hình 124 cho ta một thí dụ. Đúng ra, các nghiên cứu chính xác hơn chứng tỏ rằng đó không phải chỉ là bóng của Trái đất mà còn là bóng của ion quyển.

* *

Câu đố 305 s Hình 123 sẽ trông như thế nào nếu ta chụp ở Xích đạo?

* *

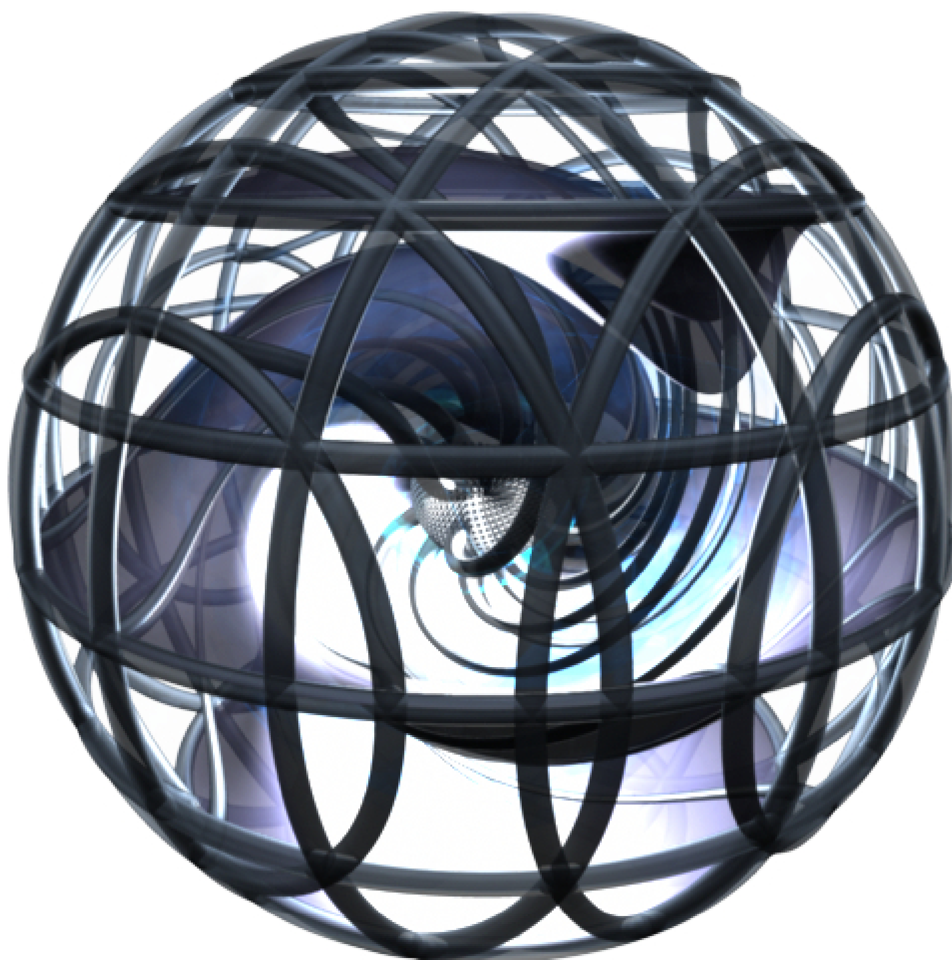
Các phép đo chính xác chứng tỏ rằng không phải tất cả các hành tinh chuyển động trong cùng một mặt phẳng. Thuỷ tinh lệch nhiều nhất. Đúng ra, không có hành tinh nào chuyển động đúng theo đường ellipse, cũng không chuyển động trong một mặt phẳng quanh Mặt trời. Các hiệu ứng này quá nhỏ và quá phức tạp nên ta không thể giải thích ở đây.

* *

Vì Trái đất tròn, có nhiều cách để đi từ điểm này tới điểm kia dọc theo một cung tròn. Việc tự do lựa chọn này đem tới nhiều điều thú vị đối với quả bóng chuyền hay đối với người đàn ông đang ngắm nhìn phụ nữ. Lấy một quả bóng chuyền và nhìn vào van nạp khí. Nếu bạn muốn chuyển van này sang vị trí khác bằng một chuyển động quay đơn giản, bạn có nhiều cách chọn trục quay. Bạn có thể khẳng định điều này không? Nói cách khác, khi ta nhìn theo một hướng đã định và muốn nhìn sang hướng khác, mắt có nhiều cách để làm việc này. Sự lựa chọn của mắt người đã được các nhà khoa học về y khoa nghiên cứu trong thế kỷ 18. Nó được gọi là *'định luật' Listing.** Định luật này phát biểu rằng mọi trục mà thiên nhiên đã chọn đều nằm trên một mặt phẳng. Bạn có thể

Câu đố 306 e

* Nếu bạn muốn biết thêm về cách mà thiên nhiên và mắt đối phó với sự phức tạp của 3 chiều, hãy thăm các website schorlab.berkeley.edu/vilis/whatisLL.htm và www.physpharm.fmd.uwo.ca/undergrad/llconsequencesweb/ListingsLaw/perceptual1.htm.



HÌNH 125 Một trái banh thép được dán trong một tấm nệm có thể quay tròn mãi mãi. (QuickTime film © Jason Hise).

Câu đố 307 s hình dung ra vị trí của chúng trong không gian không? Những người thực sự quan tâm phải tuân theo quy luật này; nếu không, việc ngắm nhìn phụ nữ trên bờ biển có thể làm cho các cơ chuyển động mắt thắt vào nhau.

* *

Hãy tưởng tượng rằng ta cắt một tấm nệm mềm ra, dán một trái banh thép vào trong nó, và dán tấm nệm trở lại. Bây giờ bạn hãy tưởng tượng rằng ta dùng từ trường để quay trái banh thép. Theo trực giác, ta sẽ nghĩ rằng trái banh chỉ có thể quay đi một góc hữu hạn, giá trị do độ đàn hồi của nệm quy định. Nhưng trong thực tế, banh thép có thể quay *vĩnh viễn!* Khả năng đáng kinh ngạc này là hệ quả của chuyển động quay có ràng buộc Trang 91 như ta thấy trong Hình 54 và Hình 55. Chuyển động quay liên tục trong một tấm nệm



HÌNH 126 Một con thằn lằn basilisk (Basiliscus basiliscus) chạy trên nước, với tổng chiều dài khoảng 25 cm, cho ta thấy cách mà chân nó đạp vào nước (© TERRA).

như vậy được trình bày trong Hình 125. Và mặc dù vấn đề khá hấp dẫn nhưng chưa có Câu đố 308 r ai thực hiện được kỳ công này. Còn bạn thì sao?

Lại nói về chân và bánh xe

Độ tăng tốc và giảm tốc của một xe hơi truyền động bằng bánh xe tiêu chuẩn không bao giờ lớn hơn 1 g = 9.8 m/s^2, gia tốc do trọng lực. Xe mô tô và xe đua có thể đạt được gia tốc lớn hơn thông qua việc sử dụng các khung treo phân tán trọng lượng ra các trục và các tấm lệch dòng khí động, sao cho xe bị ép xuống đường nhiều hơn trọng lượng của nó. Tấm lệch hiện đại hữu hiệu trong việc ép xe xuống mặt đường đến nỗi xe có thể chạy trên mái đường hầm mà không rơi xuống.

Thông qua việc sử dụng các loại vỏ xe đặc biệt, lực nén do các hiệu ứng khí động học được chuyển thành lực bám đường; vỏ xe đua hiện đại cho phép gia tốc theo các hướng tới, lui và ngang (điều cần cho việc tăng tốc, thắng xe và quẹo cua) khoảng 1.1 tới 1.3 lần tải. Các kỹ sư đã từng tin rằng hệ số 1 là giới hạn lý thuyết và giới hạn này vẫn còn được tìm thấy trong một số sách giáo khoa; những tiến bộ trong công nghệ vỏ xe, phần lớn bằng cách sử dụng thông minh khoá liên động giữa vỏ xe và mặt đường giống như hoạt động của hộp số, đã cho phép các kỹ sư đạt được những giá trị cao hơn. Gia tốc cao nhất khoảng 4 g, đạt được khi một phần vỏ xe chảy ra và dán xuống mặt đường. Các vỏ xe đặc biệt được thiết kế cho mục đích này đã được sử dụng cho các xe đua nhưng các kiểu xe hơi điều khiển bằng vô tuyến có hiệu suất cao cũng đạt được những giá trị như vậy.

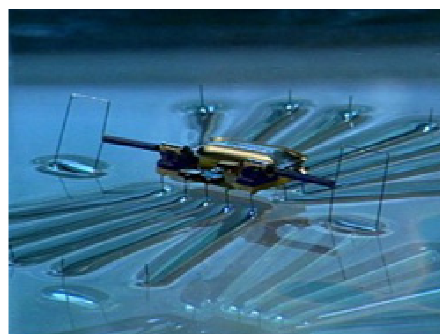
Nhưng bánh xe so với chân thì sao? Vận động viên nhảy cao có thể đạt tới gia tốc cực đại khoảng từ 2 tới 4 g, báo cheetah thì trên 3 g, vượn mắt to lên tới 13 g, châu chấu Xem 128 khoảng 18 g và bọ chét thì khoảng 135 g. Gia tốc cực đại đối với động vật là gia tốc của bổ củi, một côn trùng nhỏ có thể có gia tốc trên 2000 m/s^2= 200 g, giống như viên đạn súng hơi khi bắn ra. Như vậy chân rõ ràng hữu hiệu hơn bánh xe – Một con cheetah có thể hạ một chiếc xe hơi hay một xe mô tô một cách dễ dàng– và sự tiến hoá phát triển chân, thay vì bánh xe, để cải thiện cơ hội đem tới sự an toàn khi động vật gặp nguy hiểm.

Tóm lại, chân *hoạt động tốt hơn* bánh xe. Nhưng còn các lý do khác để sử dụng chân Câu đố 309 s thay vì bánh xe. (Bạn có thể kể ra vài lý do không?) Thí dụ như, chân khác với bánh xe, cho ta đi trên mặt nước. Nổi tiếng nhất về khả năng này là *basilisk*, * một loại thằn

* Trong thời Trung cổ, thuật ngữ 'basilisk' dùng để chỉ một quái vật trong thần thoại được cho là sẽ xuất



HÌNH 127 Một con nhện nước, kích thước tổng cộng khoảng 10 mm (© Charles Lewallen).



HÌNH 128 Một robot đi trên nước, kích thước tổng cộng khoảng 20 mm (© AIP).

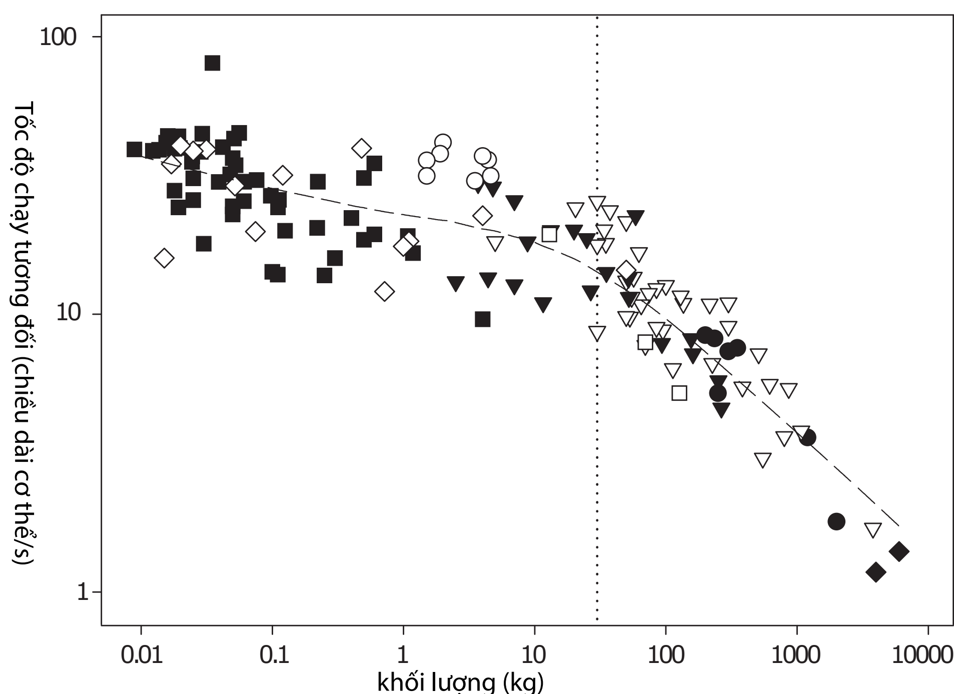
lần sống ở Trung Mỹ như ta thấy trong Hình 126. Loài bò sát này dài tới 70 cm và có khối lượng khoảng 90 g. Trông nó giống như một con *Tyrannosaurus rex* thu nhỏ, có khả năng chạy trên mặt nước bằng chân sau. Chuyển động này đã được nghiên cứu kỹ bằng máy ảnh tốc độ cao và bằng các phép đo sử dụng các mô hình chân động vật bằng nhôm. Các thí nghiệm chứng tỏ rằng sự đập chân trên mặt nước chỉ cung cấp 25 % lực
Xem 129 cần thiết để chạy trên nước; 75 % khác được cung cấp bởi một túi khí nén mà basilisk tạo ra giữa bàn chân và nước khi chân nhúng vào đó. Đúng ra, basilisk chủ yếu đi trên
Xem 130 không khí. (Cả 2 hiệu ứng do basilisk sử dụng đều có thể tìm thấy trong ca nô cao tốc.) Theo tính toán thì người ta cũng có thể đi trên nước, miễn là chân chạm nước với tốc độ 100 km/h bằng cách sử dụng công suất tức thời của 15 tay chạy nước rút. Thật là một kỳ công cho những ai làm được điều này.

Còn một phương pháp thứ 2 để đi và chạy trên nước; phương pháp này cho phép người sử dụng nó đứng yên trên mặt nước. Đây là điều mà nhện nước, côn trùng thuộc họ *Gerridae* với tổng chiều dài lên tới 15 mm, có thể làm được (cùng với nhiều loài nhện khác), như ta thấy trong Hình 127. Giống như mọi côn trùng, nhện nước có 6 chân (nhện có 8 chân). Nhện nước sử dụng chân trước và chân sau để bay lơ lửng trên mặt nước, với sự giúp đỡ của hàng ngàn sợi lông nhỏ của cơ thể. Những sợi lông này, cùng với sức căng của nước, giúp nó không bị ướt. Nếu bạn cho dầu gội đầu vào nước, nhện nước sẽ bị chìm và không di chuyển được.

Nhện nước sử dụng chân giữa to để làm mái chèo lướt đi trên mặt nước, đạt tới tốc độ 1 m/s. Tóm lại, nó thật sự chèo trên nước. Những con robot nhỏ đã sử dụng cơ chế tương tự để có thể di chuyển trên mặt nước đã được Metin Sitti và cộng sự chế tạo, như
Xem 131 ta thấy trong Hình 128.

Thiết kế robot vẫn còn trong thời kỳ non trẻ. Không có robot nào có thể đi hay chạy nhanh như hệ động vật mà nó muốn sao chép. Đối với robot 2 chân, loại khó nhất, kỷ lục về tốc độ khoảng 3.5 chiều dài chân/s. Đúng ra, có một cuộc chạy đua đang diễn ra trong các xưởng chế tạo robot: mỗi nơi đều cố gắng chế tạo robot, có tốc độ m/s hay chiều dài chân/s, nhanh hơn động vật 4 chân hay con người. Sự khó khăn của việc hiện thực hoá mục tiêu này cho ta thấy mức độ phức tạp của chuyển động đi và thiên nhiên đã tối ưu hoá các sinh hệ hoàn hảo như thế nào.

hiện khi tận thế. Ngày nay, nó là một loài bò sát nhỏ ở châu Mỹ.



HÌNH 129 Ký đồ cho thấy sự thay đổi của tốc độ chạy tương đối theo khối lượng của các loài động vật hữu nhũ trên mặt đất, đối với 142 loài khác nhau. Ký đồ này cũng minh hoạ sự thay đổi của hiệu suất chạy cho trường hợp khối lượng trên 30 kg. Hình vuông đặc biểu diễn Rodentia; hình vuông rỗng Primata; hình thoi đặc Proboscidae; hình thoi rỗng Marsupialia; tam giác đặc Carnivora; tam giác rỗng Artiodactyla; hình tròn đặc Perissodactyla; hình tròn rỗng Lagomorpha (© José Iriarte-Díaz/JEB).

Chân đã đặt ra nhiều vấn đề thú vị. Các kỹ sư đã biết rằng một cầu thang chỉ thoải mái khi sử dụng nếu mỗi bậc có chiều sâu *l + 2 lần* độ cao *h* là một hằng số: $l + 2h = 0.63 \pm 0.02$ m. Đây là *công thức cầu thang*. Tại sao lại như vậy?

Câu đố 310 s

Phần lớn động vật có số chân *chẵn*. Bạn có biết một ngoại lệ nào không? Tại sao không có? Đúng ra, người ta có thể lý luận rằng không có động vật nào có ít hơn 4 chân. Tại sao lại như vậy?

Câu đố 311 s

Mặt khác, mọi động vật 2 chân đều có chân cạnh nhau, trong khi phần lớn các hệ 2 bánh xe lại có một trước một sau. Tại sao lại không xoay trở lại?

Câu đố 312 e

Chân là bộ dẫn động rất hiệu quả. Như Hình 129 cho thấy, phần lớn động vật nhỏ có thể chạy khoảng 25 chiều dài cơ thể/s. Khi so sánh thì hầu như không có xe hơi nào có tốc độ như vậy. Chỉ có động vật nặng hơn 30 kg, kể cả con người, là chậm hơn.

Xem 132

Chân cũng cung cấp cho ta thước đo khoảng cách đơn giản: chỉ cần đếm bước chân. Năm 2006, người ta khám phá ra rằng phương pháp này đã được một số loài kiến sử dụng, như *Cataglyphis fortis*. Chúng có thể đếm ít nhất 25 000, như Matthias Wittlinger và cộng sự đã chứng minh. Loài kiến này dùng khả năng đã có để tìm đường đi ngắn nhất khi quay về tổ ngay trên đất sa mạc không định hình.

Xem 133

Tại sao những người chạy nước rút 100 m chạy nhanh hơn người thường? Một nghiên

Xem 134 cứu đầy đủ cho ta thấy rằng tốc độ v của vận động viên là

$$v = f\,L_{\text{stride}} = f\,L_{\text{c}}\,\frac{F_{\text{c}}}{W}\,, \qquad (38)$$

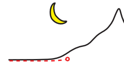
trong đó f là tần số của chân, L_{stride} là chiều dài sải chân, L_{c} là chiều dài tiếp xúc – chiều dài mà người chạy tiến tới trong thời gian bàn chân tiếp xúc với mặt đất – W là khối lượng người chạy, và F_{c} là lực trung bình mà người chạy tác dụng lên mặt đất khi tiếp xúc. Hoá ra tần số f gần như giống nhau đối với mọi người chạy; cách duy nhất để chạy nhanh hơn người khác là tăng chiều dài sải chân L_{stride}. Chiều dài tiếp xúc L_{c} cũng thay đổi ít giữa các vận động viên. Như vậy tăng chiều dài sải chân đòi hỏi người chạy chạm đất mạnh hơn. Đây là điều mà các vận động viên phải tập luyện để đạt được.

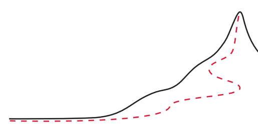
Tóm tắt về tính tương đối Galilei

Trái đất quay. Gia tốc rất nhỏ nên ta không thể nhận ra nó. Tốc độ quay thì lớn nhưng ta không cảm thấy vì *không có cách* để làm việc này.

Ta *không thể* cảm nhận hay đo được chuyển động tự do hay chuyển động theo quán tính. Như vậy ta không thể phân biệt chuyển động với đứng yên. Việc phân biệt này phụ thuộc vào quan sát viên: *Chuyển động của vật thể có tính tương đối.* Đó là lý do tại sao đất dưới chân ta hình như rất ổn định mặc dù nó đang di chuyển với tốc độ cao băng qua vũ trụ.

Vì chuyển động có tính tương đối, giá trị của nó phụ thuộc vào quan sát viên. Sau này ta sẽ khám phá ra một chuyển động trong thiên nhiên có tốc độ *không có* tính tương đối: chuyển động của ánh sáng. Nhưng trước tiên ta hãy tiếp tục nghiên cứu về chuyển động được truyền đi xa mà không có một sự tiếp xúc nào cả.





Chương 6
Chuyển động do lực hấp dẫn

> Caddi come corpo morto cade.
>
> Dante, *Inferno*, c. V, v. 142.**

Phương pháp đầu tiên và chính yếu để tạo ra chuyển động không cần tiếp xúc mà ta đã khám phá ra trong môi trường của chúng ta là *độ cao*. Thác nước, tuyết, mưa, trái banh trong trò chơi yêu thích của bạn và trái táo rơi đều dựa trên yếu tố này. Một trong những khám phá cơ bản của Vật lý là chiều cao có thể tạo ra chuyển động vì có sự tương tác giữa các vật và Trái đất. *Lực hấp dẫn* tạo ra một *gia tốc* dọc theo đường nối trọng tâm vật và tâm Trái đất. Bạn nên nhớ rằng để phát biểu như vậy ta cần phải hiểu rõ rằng Trái đất là một vật giống như một hòn đá hay Mặt trăng, và vật này hữu hạn nên nó có tâm và khối lượng. Ngày nay, những phát biểu này là kiến thức phổ thông nhưng chúng không phải là điều hiển nhiên rút ra từ kinh nghiệm cá nhân thông thường.

Trong nhiều truyện thần thoại về sự sáng tạo hay tổ chức thế giới, như kinh thánh hay thần thoại Ấn Độ, Trái đất không phải là một vật mà là một thực thể được xác định không chính xác, giống như một hòn đảo nổi trên nước hay được nước bao quanh với
Câu đố 313 s
ranh giới và phương pháp treo không rõ ràng. Bạn có thể thuyết phục bạn mình rằng Trái đất tròn chứ không phẳng hay không? Bạn có thể tìm được luận chứng khác ngoài tính chất tròn của bóng Trái đất in trên Mặt trăng như trong Hình 134 hay không?

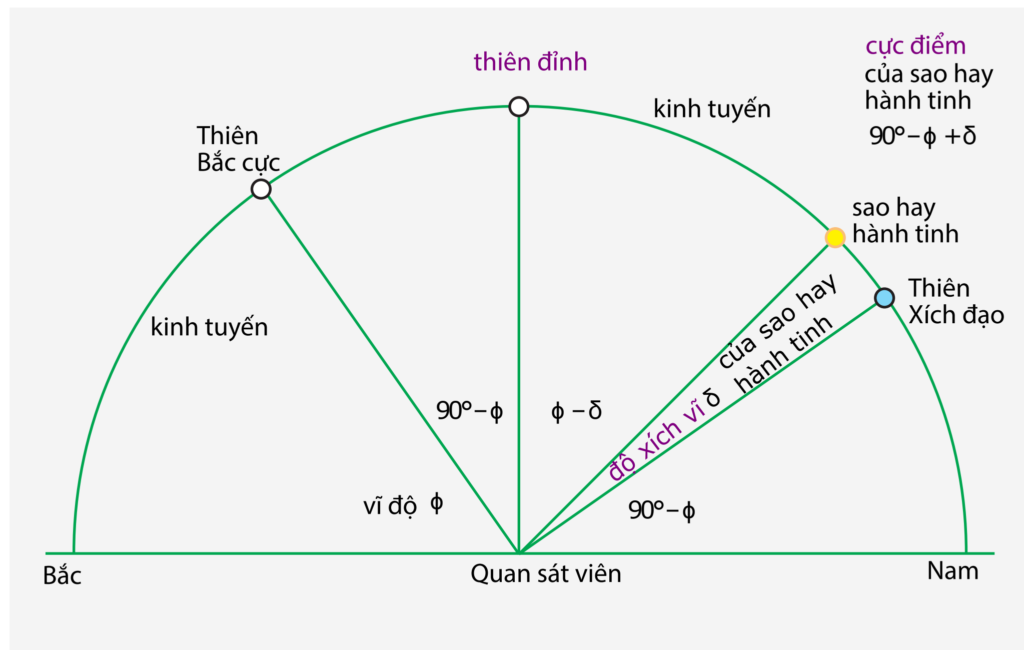
Lực hấp dẫn là một giới hạn của chuyển động đều

Có một cách hiệu quả để xác định sự có mặt của lực hấp dẫn hay trọng lực, là ta lưu ý rằng các vật quanh ta không vật nào chuyển động thẳng. Trong thiên nhiên, có một *giới hạn* cho chuyển động đều hay không đổi:

▷ Trọng lực không cho chuyển động đều xảy ra, tức là ngăn trở chuyển động thẳng đều.

Trong thiên nhiên, ta *không bao giờ* thấy các vật chuyển động với vận tốc không đổi theo một đường thẳng. Nói bằng từ ngữ của động học: trọng lực gây ra một *gia tốc* cho mọi thực thể vật lý. Lực hấp dẫn của các vật trong môi trường uốn cong quỹ đạo của một vật, làm thay đổi tốc độ của nó hay cả hai. Giới hạn này có hai mặt. Một, lực hấp dẫn ngăn trở các chuyển động đều vô hạn:

** 'Tôi rơi như xác chết đang rơi.' Dante Alighieri (1265, Firenze–1321, Ravenna), thi sĩ Ý lừng danh.



HÌNH 130 Một số khái niệm quan trọng khi quan sát sao vào ban đêm.

▷ Chuyển động không thể thẳng mãi mãi. Chuyển động không thể vô hạn.

Sau này ta sẽ biết ý nghĩa của điều này đối với toàn vũ trụ. Thứ hai,

▷ Chuyển động không thể thẳng đều cho dù chỉ trong một thời gian ngắn.

Nói cách khác, nếu ta đo đủ chính xác, ta sẽ luôn luôn tìm thấy độ sai lệch với chuyển động đều. (Các vật lý gia cũng nói rằng chuyển động không bao giờ có quán tính.) Những giới hạn này áp dụng bất kể chuyển động *mạnh* cỡ nào và vật chuyển động *ít chịu ảnh hưởng* của bên ngoài đến mức độ nào. Trong thiên nhiên, lực hấp dẫn ngăn trở các chuyển động đều của nguyên tử, banh billiard, hành tinh, ngôi sao và ngay cả thiên hà.

Lực hấp dẫn là giới hạn đầu tiên của chuyển động mà ta khám phá trong thiên nhiên. Sau này, trong cuộc hành trình, ta sẽ khám phá thêm 2 giới hạn chuyển động nữa. Ba giới hạn cơ bản này được minh hoạ trong Hình 1. Để có thể mô tả chuyển động *một cách chính xác*, ta cần tính đến từng giới hạn chuyển động. Đây là mục đích chính của ta trong cuộc hành trình này.

Trang 8

Lực hấp dẫn ảnh hưởng đến *mọi vật*, dù các vật có ở xa nhau. Chính xác thì lực hấp dẫn ảnh hưởng đến 2 vật ở xa nhau như thế nào? Ta phải hỏi các chuyên gia đo các vật ở xa: các nhà thiên văn học.

Lực hấp dẫn trên bầu trời

Lực hấp dẫn của Trái đất giữ cho Mặt trăng đi trên quỹ đạo quanh Trái đất. Lực hấp dẫn của Mặt trời giữ cho Trái đất đi trên quỹ đạo quanh nó và định ra chiều dài của một



HÌNH 131 'Hành tinh' có nghĩa là 'kẻ lang thang'. Hình ảnh ghép nối này cho ta thấy chuyển động lùi của Hoả tinh trên bầu trời – chòm sao Thất nữ ở phía trên bên trái – khi hành tinh này ở bên kia Mặt trời. Các hình ảnh này được chụp cách nhau 1 tuần và được ghép với nhau. Chuyển động này là một trong nhiều thí dụ mà ta có thể giải thích hoàn toàn nhờ lực hấp dẫn vạn vật (© Tunc Tezel).

năm. Tương tự như vậy, Lực hấp dẫn của Mặt trời xác định chuyển động của mọi hành tinh khác trên bầu trời. Ta thường tưởng tượng đang ở ngay tâm Mặt trời và nói rằng các hành tinh 'chuyển động quanh Mặt trời'. Mặt trời giữ cho các hành tinh không chuyển động thẳng mà đi vào các quỹ đạo cong. Làm cách nào để kiểm tra điều này?

Thoạt tiên khi nhìn bầu trời đêm, ta có thể thấy rằng các hành tinh luôn luôn ở trong *Hoàng đới*, một dải hẹp nằm ngang bầu trời. Đường trung tâm của Hoàng đới là đường đi của Mặt trời và được gọi là *Hoàng đạo*, vì Mặt trăng phải ở trên đường đó để tạo ra Nhật thực. Điều này chứng tỏ rằng các hành tinh chuyển động (một cách gần đúng) trong một mặt phẳng chung.*

Trang 222

Trang 223

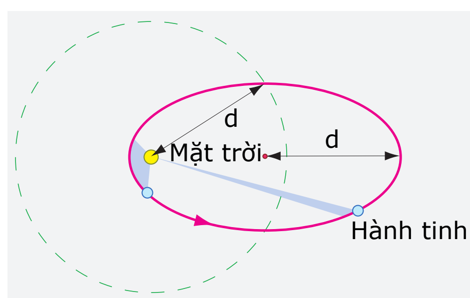
Để biết thêm về chuyển động trên bầu trời, các thiên văn gia đã thực hiện nhiều phép đo các chuyển động của Mặt trăng và các hành tinh. Người cần cù nhất là Tycho Brahe,** đã tổ chức các cuộc tìm kiếm các dữ liệu thiên văn ở quy mô công nghiệp và được nhà vua bảo trợ. Các số đo của ông là nền tảng cho các nghiên cứu của người phụ tá trẻ tuổi, thiên văn gia Swabia Johannes Kepler*** người tìm được sự mô tả chính xác đầu tiên về

Quyển III, trang 322

* Chiều cao biểu kiến của Hoàng đạo thay đổi theo thời điểm trong năm và là lý do có các mùa thay đổi. Do đó mùa cũng là hiệu ứng hấp dẫn.

** Tycho Brahe (b. 1546 Scania, d. 1601 Prague), thiên văn gia nổi tiếng, người xây dựng Uraniaborg, lâu đài thiên văn. Ông sử dụng gần 10 % tổng sản lượng quốc gia cho việc nghiên cứu, đã tạo ra được danh mục sao đầu tiên và tìm được các số đo vị trí chính xác đầu tiên của các hành tinh.

*** Johannes Kepler (1571 Weil der Stadt–1630 Regensburg) đã nghiên cứu về Thần học Tin lành và đã trở



HÌNH 132 Chuyển động của hành tinh quanh Mặt trời, cho thấy bán trục chính *d* của nó, cũng là khoảng cách trung bình của nó đến Mặt trời.

chuyển động của các hành tinh. Đây không phải là một công việc dễ dàng, như các quan sát trong Hình 131 cho thấy. Trong công trình nghiên cứu kỹ lưỡng của ông về chuyển động của các hành tinh trên Hoàng đới, Kepler đã khám phá ra nhiều 'định luật', tức là các kiểu thức hay quy luật. Chuyển động của mọi hành tinh đều tuân theo các quy luật giống nhau, khẳng định Mặt trời xác định các quỹ đạo của chúng. Ba quy luật chính là:

1. Các hành tinh chuyển động trên các đường ellipse với Mặt trời ở một tiêu điểm (1609).
2. Các hành tinh quét những diện tích bằng nhau trong những khoảng thời gian bằng nhau (1609).
3. Mọi hành tinh đều có tỷ số T^2/d^3 giữa chu kỳ chuyển động T và bán trục chính d như nhau (1619).

Các kết quả của Kepler được minh hoạ trong Hình 132. Công phu bỏ ra để tìm được 3 'định luật' này thật kinh khủng. Kepler không có máy tính. Kỹ thuật tính toán mà ông sử dụng là logarithm mới được khám phá. Ai đã từng sử dụng các bảng logarithm để tính toán đều có thể cảm nhận về lượng công việc đằng sau 3 khám phá này.

Sau cùng, vào năm 1684, mọi quan sát của Kepler về các hành tinh và các hòn đá đã được vật lý gia Anh Robert Hooke và một vài người khác, cô đọng thành một kết quả đơn giản đáng kinh ngạc :*

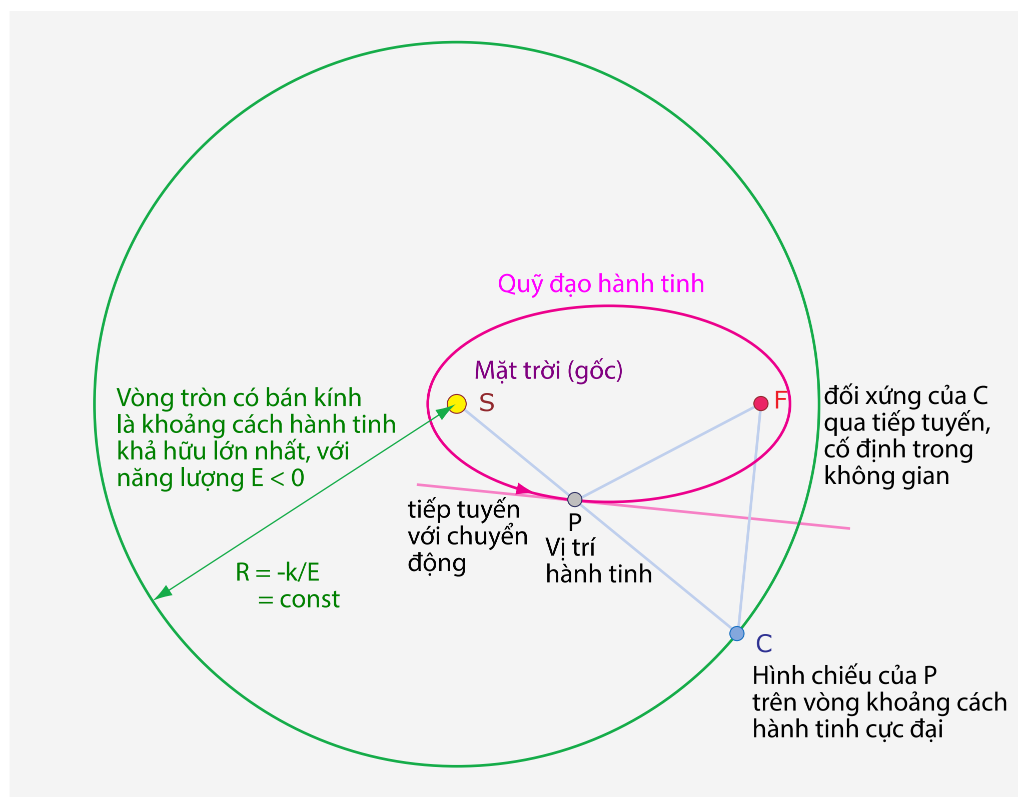
▷ Mọi vật khối lượng M đều hút các vật khác về phía tâm của nó với gia tốc có độ lớn

$$a = G\frac{M}{r^2} \qquad (39)$$

trong đó r là khoảng cách tâm của 2 vật.

thành giáo sư toán, thiên văn và thuật hùng biện. Ông đã giúp mẹ của ông tự vệ thành công trước toà án nơi bà bị cáo buộc là phù thuỷ. Quyển sách thiên văn đầu tiên của ông đã làm cho ông nổi tiếng và ông trở thành phụ tá cho Tycho Brahe. Khi thầy của ông qua đời, ông trở thành Toán gia Hoàng gia. Ông là người đầu tiên sử dụng Toán học trong việc mô tả các quan sát thiên văn và giới thiệu các khái niệm cùng với lĩnh vực 'Vật lý thiên thể.

* Robert Hooke (1635–1703), vật lý gia quan trọng và thư ký của Hội hoàng gia Anh. Ngoài việc khám phá hệ thức nghịch đảo bình phương này và các hệ thức khác, như 'định luật' Hooke, ông cũng viết tác phẩm *Micrographia*, một cuộc thám hiểm có minh hoạ đẹp đẽ về thế giới tế vi.



HÌNH 133 Chứng minh hành tinh chuyển động theo đường ellipse (màu hồng cánh sen) quanh Mặt trời, là kết quả của mối liên hệ giữa nghịch đảo của bình phương khoảng cách với lực hấp dẫn. Chứng minh này – chi tiết cho trong sách – dựa trên hệ thức SP+PF=R. Vì R không đổi nên quỹ đạo là một ellipse

Hệ thức này được gọi là *lực hấp dẫn vạn vật* hay là *'định luật' vạn vật hấp dẫn*, vì nó đúng cả trên trời lẫn dưới đất, như ta sẽ thấy sau này. Hằng số tỷ lệ G được gọi là *hằng số hấp dẫn*; nó là một trong các hằng số cơ bản của thiên nhiên, giống như tốc độ ánh sáng c hay lượng tử tác dụng $\hbar$. G sẽ được nói rõ sau đây. Trang 183

Tác dụng của lực hấp dẫn sẽ giảm đi khi khoảng cách gia tăng; nó phụ thuộc vào nghịch đảo của bình phương khoảng cách của các vật đang xem xét. Nếu các vật nhỏ so với khoảng cách r, hay nếu chúng có dạng hình cầu, biểu thức (39) sẽ là biểu thức chính xác; nếu các vật không phải là hình cầu gia tốc phải được tính riêng cho từng phần của vật rồi cộng lại.

Xem 146 Tại sao quỹ đạo của hành tinh thông thường là một ellipse? Luận chứng đơn giản nhất được cho trong Hình 133. Ta đã biết gia tốc do lực hấp dẫn là $a = GM/r^2$. Ta cũng đã biết một vật trên quỹ đạo, khối lượng m, có năng lượng không đổi $E < 0$. Như vậy ta có thể vẽ quanh Mặt trời một vòng tròn bán kính $R = -GMm/E$, là khoảng cách lớn nhất đến Mặt trời mà vật có năng lượng E có thể có được. Bây giờ ta chiếu vị trí hành tinh P lên vòng tròn này để có điểm C. Lấy đối xứng của C qua tiếp tuyến để có điểm F. Dễ dàng chứng minh được F cố định trong không gian và thời gian. (Bạn có thể tìm ra cách chứng minh không?) Do phép dựng hình, tổng SP+PF không đổi theo thời gian và Câu đố 314 s

bằng $R = -GMm/E$. Vì tổng khoảng cách không đổi, quỹ đạo là một ellipse. (Hãy nhớ cách vẽ ellipse bằng một sợi dây.) Điểm F, giống như Mặt trời, là tiêu điểm của ellipse. Như vậy phép dựng hình chứng tỏ rằng chuyển động của hành tinh xác định 2 tiêu điểm và đi theo quỹ đạo ellipse có 2 tiêu điểm này. Tóm lại, ta đã suy ra 'định luật' 1 của Kepler từ biểu thức của lực hấp dẫn.

'Định luật' Kepler 2 về diện tích quét, hàm ý rằng hành tinh chuyển động nhanh hơn khi ở gần Mặt trời. Đó là một cách đơn giản để phát biểu về sự bảo toàn moment động lượng. 'Định luật' 3 phát biểu về điều gì? Câu đố 315 e

Bạn có thể chứng minh rằng 'định luật' Kepler 2 và 3 cũng được suy ra từ biểu thức Hooke về lực hấp dẫn vạn vật hay không? Câu đố 316 s Việc công bố kết quả này – điều hiển nhiên đối với Hooke – là một trong các thành tựu của Newton. Bạn hãy thử lặp lại điều này; nó sẽ cho bạn thấy rằng các câu đố sẽ đem lại cho bạn, không chỉ các khó khăn mà còn cả các khả năng Vật lý và niềm vui.

Newton đã giải được các bài toán này bằng các hình hình học – mặc dù hình rất phức tạp. Người ta đã biết rõ rằng Newton không thể viết ra, để xử lý một mình, các phương trình vi phân cùng lúc với việc công bố các kết quả về lực hấp dẫn. Xem 28 Đúng ra cách ký hiệu và các phương pháp tính toán của Newton rất nghèo nàn. (Nghèo hơn của các bạn nhiều!) Toán gia Anh Godfrey Hardy* thường nói rằng việc ngoan cố sử dụng cách ký hiệu vi tích phân của Newton hơn là các phương pháp tốt hơn đã có trước đó, mà ngày nay vẫn còn phổ biến, bắt nguồn từ đối thủ của ông Leibniz – đã kéo lùi nền toán học của Anh đến 100 năm.

Tóm lại, Kepler, Hooke và Newton đã trở nên nổi tiếng vì họ đã hoàn thiện cách mô tả chuyển động của hành tinh. Họ đã chứng tỏ rằng mọi chuyển động do lực hấp dẫn đều tuân theo quy luật nghịch đảo bình phương khoảng cách. Vì lý do này, hệ thức $a = GM/r^2$ được gọi là định luật hấp dẫn *vạn vật*. Thành quả đạt được trong việc thống nhất mô tả sự chuyển động, mặc dù ít có ý nghĩa thực tiễn, đã được phổ biến rộng rãi. Lý do chính là vì các thành kiến và ảo tưởng lâu đời gắn liền với chiêm tinh học.

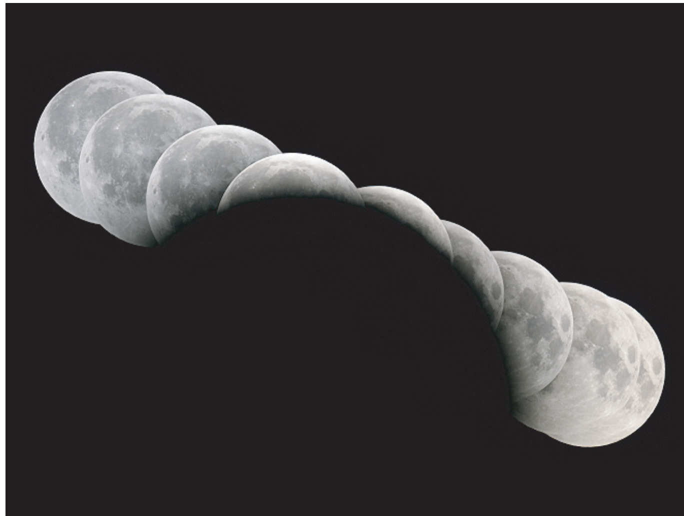
Đúng ra hệ thức nghịch đảo bình phương khoảng cách giải thích được nhiều hiện tượng. Nó giải thích được chuyển động và hình dạng của Ngân hà cùng các thiên hà khác, chuyển động của nhiều hiện tượng thời tiết và lý do Trái đất có khí quyển còn Mặt trăng thì không. (Bạn có thể giải thích được không?) Câu đố 317 s

Lực hấp dẫn trên Trái đất

Định luật về gia tốc hấp dẫn thường được gọi một cách sai lầm là 'định luật' hấp dẫn Newton. Thật vậy, nhà huyền học và vật lý gia Isaac Newton đã chứng minh đẹp hơn Hooke ở chỗ biểu thức này phù hợp với các quan sát thiên văn lẫn trên trái đất. Tuy vậy, điều chủ yếu là, ông đã tổ chức chiến dịch quan hệ công chúng tốt hơn, trong đó ông đã tuyên bố một cách sai lầm ông là người đã đưa ra ý tưởng đó đầu tiên. Xem 136

Newton đã công bố một chứng minh đơn giản chứng tỏ rằng sự mô tả về sự hấp dẫn vũ trụ cũng sẽ giúp cho ta mô tả đúng về chuyển động của hòn đá ném trong không khí, rơi xuống 'đất Mẹ'. Để đạt được điều này, ông so sánh gia tốc a_m của Mặt trăng với gia tốc của hòn đá g. Tỷ số của 2 gia tốc này theo hệ thức bình phương nghịch đảo sẽ

* Godfrey Harold Hardy (1877–1947) toán gia về lý thuyết số quan trọng, là tác giả của quyển sách nổi tiếng *A Mathematician's Apology*. Ông cũng 'đã khám phá ra' toán gia Ấn Độ nổi tiếng Srinivasa Ramanujan và mang ông ta về Anh.



HÌNH 134 Cách so sánh bán kính Trái đất và bán kính Mặt trăng trong thời gian nguyệt thực một phần (© Anthony Ayiomamitis).

là $g/a_m = d_m^2/R^2$, trong đó d_m là khoảng cách đến Mặt trăng và R là bán kính Trái đất. Khoảng cách đến Mặt trăng có thể đo được bằng phép tam giác đạc, bằng cách so sánh vị trí của nó trên nền sao từ 2 điểm khác nhau trên Trái đất. * Kết quả là $d_m/R = 60 \pm 3$, phụ thuộc vào vị trí của Mặt trăng trên quỹ đạo, nên tỷ số trung bình 2 gia tốc là $g/a_m = 3.6 \cdot 10^3$. Nhưng ta cũng có thể đo trực tiếp 2 gia tốc này. Ở mặt đất, hòn đá có một gia tốc do trọng lực với độ lớn $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$, đã được xác định bằng cách đo thời gian mà hòn đá cần để rơi một khoảng cách đã cho. Đối với Mặt trăng, định nghĩa của gia tốc, $a = \mathrm{d}v/\mathrm{d}t$, trong chuyển động tròn – gần đúng ở đây – cho ta $a_m = d_m(2\pi/T)^2$, trong đó $T = 2.4\,\mathrm{Ms}$ là thời gian Mặt trăng cần để đi 1 vòng quanh Trái đất.** Việc đo bán kính Trái đất *** cho kết quả $R = 6.4\,\mathrm{Mm}$, vì vậy khoảng cách Trái đất–Mặt trăng trung bình là $d_m = 0.38\,\mathrm{Gm}$. Như vậy ta có $g/a_m = 3.6 \cdot 10^3$, phù hợp với tiên đoán trên. Với ‘việc

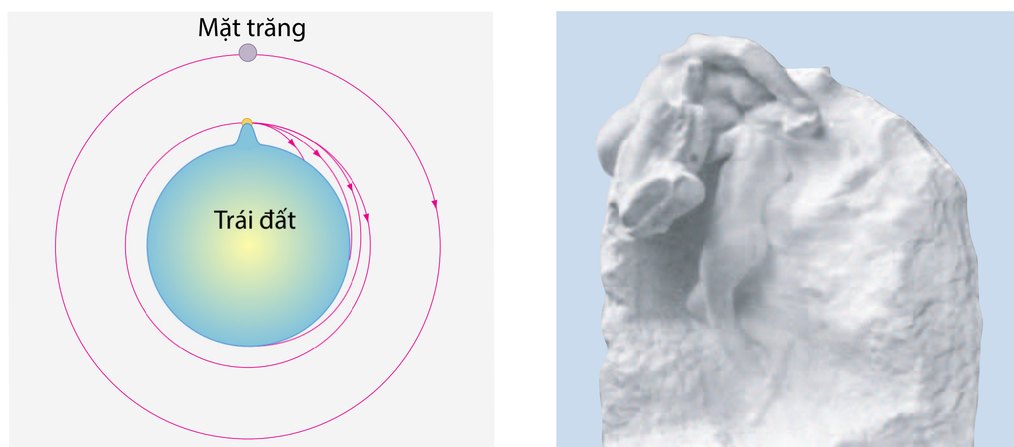
* Phép đo chính xác đầu tiên – không phải là phép đo đầu tiên – đã được các thiên văn gia Pháp Lalande và La Caille, thực hiện năm 1752 bằng cách đo vị trí của Mặt trăng được nhìn từ Berlin và từ Le Cap.

** Biểu thức của gia tốc hướng tâm được suy ra dễ dàng bằng cách nhận xét rằng một vật chuyển động tròn thì độ lớn của vận tốc $\boldsymbol{v} = \mathrm{d}\boldsymbol{x}/\mathrm{d}t$ là $v = 2\pi r/T$. Hình vẽ của ngọn vector vận tốc $\boldsymbol{v}$ theo thời gian, được gọi Câu đố 318 s là *tốc đồ*, chứng tỏ rằng nó hành xử giống như vị trí của vật. Do đó độ lớn của gia tốc $\boldsymbol{a} = \mathrm{d}\boldsymbol{v}/\mathrm{d}t$ được cho bởi biểu thức tương ứng, cụ thể là $a = 2\pi v/T$.

*** Đây là đại lượng khó đo nhất. Cách kỳ lạ nhất để xác định kích thước Trái đất là như sau: ngắm hoàng Xem 137 hôn trong vườn, với đồng hồ bấm giờ trong tay, có trong mobile phone. Khi tia nắng cuối cùng biến mất, bấm đồng hồ và chạy lên lầu. Ta vẫn còn thấy Mặt trời ở đó; ngừng đồng hồ khi Mặt trời lại biến mất và ghi lại thời gian t. Đo hiệu 2 độ cao h giữa 2 vị trí mắt nơi Mặt trời được quan sát. Bán kính Trái đất R lúc Câu đố 319 s đó là $R = k\,h/t^2$, với $k = 378 \cdot 10^6\,\mathrm{s}^2$.

Xem 138 Cũng còn một cách đơn giản để đo khoảng cách tới Mặt trăng khi ta đã biết kích thước Trái đất. Chụp hình Mặt trăng khi nó còn trên bầu trời và gọi θ là góc thiên đỉnh của nó tức là góc của nó theo phương thẳng đứng. Chụp một hình khác sau đó vài giờ khi nó ở đúng trên chân trời. Trên hình này, khác với Trang 70 ảo thị thông thường, Mặt trăng nhỏ hơn, vì nó ở xa hơn. Vẽ một sơ đồ, bạn sẽ thấy sự suy luận sẽ trở nên rõ ràng. Nếu q là tỷ số 2 đường kính góc, khoảng cách Trái đất–Mặt trăng d_m được cho bởi hệ thức Câu đố 320 s $d_m^2 = R^2 + (2Rq\cos\theta/(1-q^2))^2$. Hãy thưởng thức cách tìm ra hệ thức này từ sơ đồ.

Còn một cách xác định kích thước Mặt trăng nữa là so sánh nó với kích thước bóng của Trái đất trong khi Nguyệt thực, như ta thấy trong Hình 134. Lúc đó khoảng cách tới Mặt trăng được tính từ kích thước góc của nó, khoảng 0.5°.



HÌNH 135 Cái nhìn của một vật lý gia và một nghệ sĩ về sự rơi của Mặt trăng: sơ đồ của Christiaan Huygens (không đúng tỷ lệ) và pho tượng cẩm thạch của Auguste Rodin.

tính toán Mặt trăng' nổi tiếng này, ta đã chứng tỏ rằng tính chất bình phương nghịch đảo của lực hấp dẫn thực sự mô tả cả 2 chuyển động của Mặt trăng và hòn đá. Bạn có thể suy ra giá trị của tích GM đối với TRái đất. Câu đố 321 s

Như vậy lực hấp dẫn vạn vật mô tả mọi chuyển động bắt nguồn từ lực hấp dẫn – cả trên Trái đất lẫn trong bầu trời. Đây là bước quan trọng hướng đến sự thống nhất của Vật lý. Trước khám phá này, từ những quan sát trên Trái đất mọi chuyển động cuối cùng trở thành đứng yên, trong khi trong bầu trời mọi chuyển động là vĩnh cửu, Aristotle và nhiều người khác đã kết luận rằng chuyển động trên *trần thế* có tính chất *khác với* chuyển động trên *thượng giới*. Nhiều tư tưởng gia đã phê bình sự phân biệt này, đáng chú ý là triết gia và hiệu trưởng của Đại học Paris, Jean Buridan.* Tính toán về Mặt trăng là kết quả quan trọng nhất cho ta thấy sự phân biệt này không đúng. Đây là lý do cho việc gọi biểu thức Hooke (39) là lực hấp dẫn *phổ quát* (vạn vật). Xem 139

Lực hấp dẫn vạn vật cho ta trả lời được các câu hỏi lâu đời khác. Tại sao Mặt trăng không rơi xuống đất? Xem nào, những bàn luận trên kia đã chứng tỏ rằng *rơi* là chuyển động do trọng lực. Do đó Mặt trăng thực ra *là đang rơi*, kèm theo một nét riêng biệt là thay vì rơi *xuống đất*, nó liên tục rơi *quanh* Trái đất. Hình 135 minh hoạ cho ý tưởng này. Mặt trăng liên tục đi chệch khỏi Trái đất.**

Mặt trăng không phải là vật duy nhất rơi quanh Trái đất. Hình 137 cho ta thấy một trường hợp khác.

* Jean Buridan (*c.* 1295 tới *c.* 1366) cũng là một trong tư tưởng gia hiện đại đầu tiên bàn luận về chuyển động quay của Trái đất quanh một trục.

** Còn một cách diễn tả khác là sử dụng câu trả lời của vật lý gia Hoà Lan Christiaan Huygens (1629–1695): Mặt trăng không rơi xuống đất vì có gia tốc ly tâm. Như đã giải thích ở Trang 162, cách giải thích này không được ưa chuộng tại các trường đại học.

Xem 140
Câu đố 322 d
Có một bài toán liên quan tới hình bên trái: những điểm nào trên mặt đất mà một viên đạn bắn từ đỉnh núi có thể chạm tới? Và điểm nào bị chạm nếu đạn bắn theo phương ngang?



HÌNH 136 Một con lắc giây chính xác, có chiều dài 1 m; gần đầu trên là buồng chân không bổ chính cho sự thay đổi áp suất khí quyển; xuống phía dưới, có kết cấu to để bổ chính cho sự thay đổi chiều dài của con lắc do nhiệt độ; ở sát đáy, có đinh ốc để bổ chính cho sự thay đổi theo địa phương của gia tốc trọng lực, cho ta một độ chính xác toàn bộ khoảng 1 s mỗi tháng (© Erwin Sattler OHG).



HÌNH 137 Người trên quỹ đạo không cảm thấy trọng lượng, bầu khí quyển xanh thì lại có (NASA).

BẢNG 26 Một số giá trị đo được của gia tốc do lực hấp dẫn.

Địa điểm	Giá trị
Địa cực	$9.83\,\mathrm{m/s^2}$
Trondheim	$9.8215243\,\mathrm{m/s^2}$
Hamburg	$9.8139443\,\mathrm{m/s^2}$
Munich	$9.8072914\,\mathrm{m/s^2}$
Rome	$9.8034755\,\mathrm{m/s^2}$
Xích đạo	$9.78\,\mathrm{m/s^2}$
Mặt trăng	$1.6\,\mathrm{m/s^2}$
Mặt trời	$273\,\mathrm{m/s^2}$

Tính chất của lực hấp dẫn: G và g

Lực hấp dẫn khiến cho đường đi của một hòn đá không phải là một parabol, như đã nói Trang 78 trước kia, mà thực ra là một *ellipse* bao quanh tâm Trái đất. Điều này xảy ra giống như các hành tinh chuyển động theo đường ellipse quanh Mặt trời. Bạn có thể khẳng định Trang 178 điều này không?

Lực hấp dẫn vạn vật cho phép ta tìm hiểu giá trị khó hiểu của gia tốc $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$ mà ta đã gặp trong phương trình (6). Giá trị này bắt nguồn từ hệ thức

$$g = GM_{\text{Earth}}/R_{\text{Earth}}^2\ . \qquad (40)$$

Biểu thức này có thể suy ra từ phương trình (39), lực hấp dẫn vạn vật, bằng cách xem Trái đất là hình cầu. Gia tốc thông thường của trọng lực g là kết quả suy ra từ kích thước, khối lượng Trái đất và hằng số hấp dẫn G. Điều hiển nhiên là giá trị g này gần như không đổi trên mặt đất như ta thấy trong Bảng 26, vì Trái đất gần như là hình cầu. Biểu thức (40) cũng giải thích lý do g giảm đi khi ta đi lên cao và sự sai lệch về hình dạng của Trái đất so với hình cầu giải thích lý do g khác nhau ở các địa cực và ở bình nguyên thì lớn Câu đố 323 s hơn. (g ở Mặt trăng là bao nhiêu? trên Hoả tinh? Mộc tinh?)

Ngoài ra, ta có thể phát minh một máy đơn giản, khác với một yo-yo, có thể làm chậm gia tốc trọng lực hiệu dụng một lượng đã biết sao cho ta có thể đo được giá trị của nó Câu đố 324 s một cách dễ dàng hơn. Bạn có thể nghĩ ra chiếc máy đó không?

Hãy chú ý rằng 9.8 gần bằng π^2. Đây *không phải là* sự trùng hợp: metre đã được chọn Câu đố 325 s để làm cho điều này (gần) đúng. Chu kỳ T của một con lắc đơn, là *

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\ , \qquad (41)$$

* Công thức (41) đáng được ghi nhớ trong tất cả mọi điều còn bị quên. Chu kỳ của con lắc *không* phụ thuộc khối lượng của vật dao động. Ngoài ra, nó cũng *không* phụ thuộc biên độ dao động. (Điều này đúng miễn là góc dao động nhỏ hơn 15°.) Galilei đã khám phá điều này khi còn là học sinh, lúc quan sát một đèn chùm treo trên một sợi dây dài trong mái vòm của tháp Pisa. Bằng cách sử dụng nhịp tim làm đồng hồ ông nhận thấy rằng mặc dù biên độ của đèn càng lúc càng nhỏ nhưng thời gian dao động không thay đổi.

Chân cũng chuyển động giống như một con lắc, khi ta đi bình thường. Tại sao người cao hơn có khuynh Câu đố 326 s hướng đi nhanh hơn? Mối liên hệ này có đúng cho động vật có kích thước khác nhau không?



HÌNH 138 Các phép đo dùng để định nghĩa metre (© Ken Alder).

trong đó l là chiều dài con lắc và $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$ là gia tốc trọng lực. (Con lắc được giả sử là một vật nhỏ cột vào một sợi dây có khối lượng không đáng kể.) Thời gian dao động của con lắc chỉ phụ thuộc chiều dài sợi dây và g, như vậy nó phụ thuộc vào hành tinh mà ta đang ở.

Câu đố 327 e

Nếu metre được định nghĩa sao cho $T/2 = 1$ s, thì giá trị của gia tốc thông thường g sẽ đúng bằng $\pi^2\,\mathrm{m/s^2} = 9.869\,604\,401\,09\,\mathrm{m/s^2}$. Thật vậy, đây là đề nghị đầu tiên cho định nghĩa của metre; đề nghị này của Huygens năm 1673 và được Talleyrand lặp lại năm 1790 nhưng bị hội nghị về định nghĩa của metre bác bỏ vì g thay đổi theo vị trí địa lý, chiều dài con lắc thay đổi theo nhiệt độ và ngay cả sự thay đổi áp suất khí quyển cũng gây ra sai số quá lớn nên không thể xác định được độ chính xác hữu dụng. (Như ta đã thấy, tất cả các hiệu ứng này phải được bổ chính trong đồng hồ con lắc như đã trình bày trong Hình 136.)

Xem 141

Sau cùng, đề nghị được thực hiện là định nghĩa metre bằng 1/40 000 000 chu vi Trái đất đi qua các địa cực, được gọi là *kinh tuyến*. Đề nghị này gần như giống – nhưng chính xác hơn – với đề nghị con lắc. Định nghĩa kinh tuyến của metre đã được Quốc hội Pháp thông qua ngày 26/03/1791, kèm với tuyên bố 'kinh tuyến đi qua dưới chân mọi người và mọi kinh tuyến đều bằng nhau'. (Tuy nhiên, khoảng cách từ Xích đạo tới địa cực không bằng đúng 10 Mm; đó là một câu chuyện kỳ lạ. Một trong hai nhà địa lý xác định kích thước của thước đo metre đầu tiên không trung thực. Dữ liệu đo được của anh ta – phương pháp tổng quát được trình bày trong Hình 138 – đã được bịa đặt. Do đó thước metre chính thức đầu tiên ở Paris ngắn hơn một chút.)

Tiếp tục lên đường tìm hiểu gia tốc hấp dẫn g, ta vẫn có thể thắc mắc: Tại sao Trái đất có khối lượng và kích thước như vậy? Tại sao G có giá trị như vậy? Câu đầu tiên hỏi về lịch sử Thái dương hệ; người ta vẫn chưa trả lời được và nó vẫn còn là đề tài nghiên

cứu. Câu thứ 2 sẽ được nói tới trong Phụ lục 17.

Nếu lực hấp dẫn có tính phổ quát và nếu mọi vật thực sự hút nhau, lực hút sẽ có giữa 2 vật bất kỳ trong cuộc sống hằng ngày. Lực hấp dẫn cũng phải tác dụng *theo phương ngang*. Điều này xảy ra đúng như vậy mặc dù tác dụng cực nhỏ. Các tác dụng này nhỏ đến nỗi người ta chỉ đo được chúng sau khi tiên đoán rất lâu. Mặt khác, việc đo tác dụng này là cách duy nhất để xác định hằng số hấp dẫn G. Ta hãy xem cách làm việc này.

Chúng ta nên nhớ rằng việc đo hằng số hấp dẫn G cũng là cách duy nhất để xác định khối lượng *Trái đất*. Người đầu tiên làm được điều đó vào năm 1798 là vật lý gia Anh Henry Cavendish; ông sử dụng máy móc, ý tưởng và phương pháp của John Michell người đã qua đời khi nỗ lực làm thí nghiệm. Michell và Cavendish* đã gọi mục tiêu và kết quả của thí nghiệm là 'cân Trái đất'.

Ý tưởng của Michell là treo một thanh nằm ngang, có 2 vật ở 2 đầu, ở đầu một dây thép dài. Rồi ông đưa hai vật nặng tới gần 2 đầu thanh ngang, tránh tạo ra các luồng khí và đo xem thanh quay một góc bao nhiêu. Hình 139 cho ta thấy cách làm lại thí nghiệm này ở nhà và Hình 140 là cách thực hiện khi bạn có ngân quỹ lớn hơn.

Giá trị của G tìm được trong các phiên bản thí nghiệm Michell–Cavendish phức tạp hơn là

$$G = 6.7 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{Nm^2/kg^2} = 6.7 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{m^3/(kg\ s^2)}\ . \qquad (42)$$

Thí nghiệm Cavendish là thí nghiệm đầu tiên khẳng định rằng lực hấp dẫn cũng tác dụng theo phương ngang. Thí nghiệm này cũng cho ta suy ra khối lượng M của Trái đất
Câu đố 328 e
từ bán kính R của nó và hệ thức $g = GM/R^2$. Nó cũng cho ta suy ra được mật độ trung bình của Trái đất. Sau cùng như ta sẽ thấy sau này, nếu ta nhớ rằng tốc độ ánh sáng hữu hạn và bất biến, thì thí nghiệm chứng tỏ rằng không gian bị uốn cong. Tất cả các điều
Quyển II, trang 145
này được suy ra từ một thí nghiệm đơn giản!
Xem 142
Cavendish đã tìm được mật độ của Trái đất là 5.5 lần mật độ của nước. Đây là một kết quả đáng ngạc nhiên vì đá chỉ có mật độ bằng 2.8 lần mật độ của nước. Nguồn gốc
Câu đố 329 e
của giá trị mật độ lớn này là gì?

Ta cũng nhận thấy rằng G có giá trị nhỏ. Ở phần trước ta đã nói là lực hấp dẫn giới hạn chuyển động. Đúng ra, ta có thể viết biểu thức của lực hấp dẫn vạn vật dưới dạng:

$$\frac{ar^2}{M} = G > 0 \qquad (43)$$

Lực hấp dẫn ngăn trở chuyển động đều. Ngoài ra, ta có thể nói thêm: *Lực hấp dẫn là tác dụng nhỏ nhất của môi trường trên một vật chuyển động.* Mọi tác dụng khác đều lớn hơn
Câu đố 330 d
lực hấp dẫn. Tuy vậy, viết phát biểu này dưới dạng một công thức đơn giản không phải là một điều dễ dàng.

Lực hấp dẫn giữa các vật thông thường thì yếu. Hai người trung bình đứng cách nhau 1 m cảm thấy một gia tốc hướng vào nhau nhỏ hơn gia tốc do một con ruồi gây ra khi
Câu đố 331 s
đáp xuống da. Do đó ta thường không nhận ra lực hút của người khác. Khi ta nhận thấy

* Henry Cavendish (b. 1731 Nice, d. 1810 London) là một trong những thiên tài vĩ đại của Vật lý; giàu có, tự kỷ, người ghét phụ nữ, độc thân và cô đơn, ông đã tìm ra nhiều quy luật thiên nhiên nhưng không bao giờ công bố chúng. Nếu ông làm như vậy, ông sẽ nổi tiếng hơn rất nhiều. John Michell (1724–1793) là mục sư, địa chất gia và thiên văn gia tài tử.



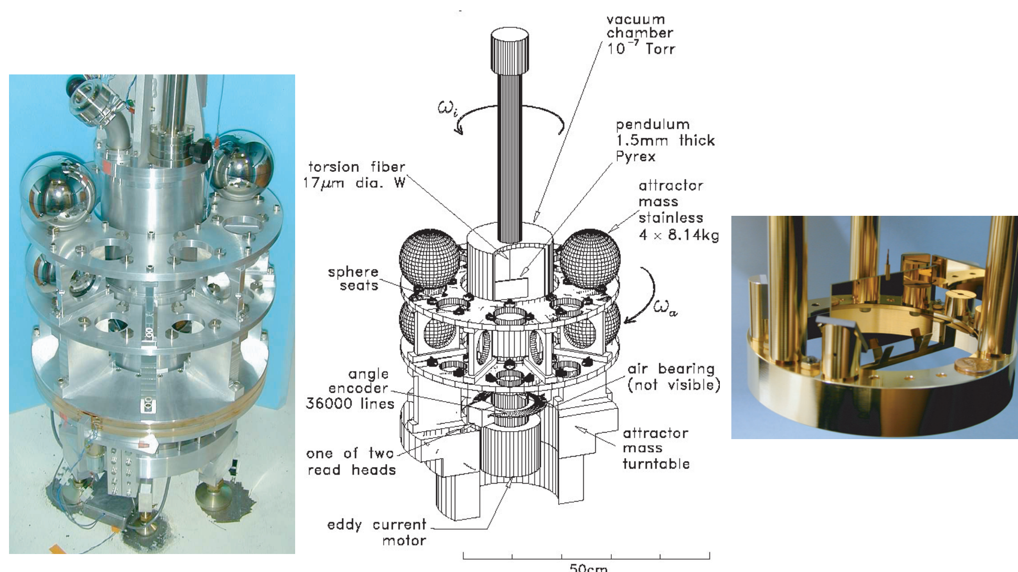
HÌNH 139 Những thí nghiệm tại gia cho phép ta xác định hằng số hấp dẫn G, cân Trái đất, chứng minh lực hấp dẫn tác dụng theo phương ngang và làm cong không gian. Hình phía trên: một cân xoắn làm bằng mốp và chì, banh pétanque (boule) là các khối lượng cố định; hình giữa bên phải: một cân xoắn làm bằng gỗ và chì, đá là các khối lượng cố định; hình dưới: chuỗi hình chứng tỏ các hòn đá hút chì (© John Walker).

nó thì nó phải mạnh hơn rất nhiều. Số đo của G chứng tỏ rằng lực hấp dẫn không thể là nguyên nhân thực sự của một người say mê ai đó và sự hấp dẫn của ái tình cũng không bắt nguồn từ lực hấp dẫn mà từ các nguyên nhân khác. Nền tảng vật lý của tình yêu sẽ được nghiên cứu sau này trong cuộc hành trình của chúng ta: nó được gọi là *hiện tượng điện từ*.

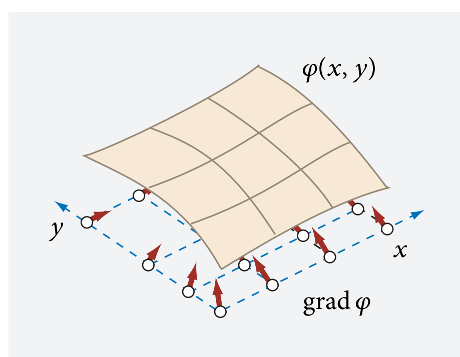
Quyển III, trang 15

Thế hấp dẫn

Lực hấp dẫn có một tính chất quan trọng: mọi tác dụng của nó có thể được biểu diễn bằng các biến động lực khác, cụ thể là *thế (hấp dẫn)* φ. Lúc đó ta sẽ có một hệ thức đơn



HÌNH 140 Thí nghiệm bằng cân xoắn hiện đại để đo hằng số hấp dẫn, thực hiện tại đại học Washington (© Eöt-Wash Group).



HÌNH 141 Thế và gradient, được biểu diễn bằng hình vẽ trong không gian 2 chiều.

giản là gia tốc bằng *gradient* của hàm thế

$$\boldsymbol{a} = -\nabla\varphi \qquad \text{hay} \qquad \boldsymbol{a} = -\operatorname{grad}\varphi \,. \tag{44}$$

Gradient chỉ là một thuật ngữ thông thái có nghĩa là 'độ dốc dọc theo hướng dốc nhất'. Gradient được xác định cho một điểm bất kỳ trên con dốc, lớn khi dốc nhiều và nhỏ khi dốc ít. Gradient chỉ theo hướng dốc nhất, như ta thấy trong Hình 141. Gradient được viết tắt là ∇, đọc là 'nabla', và được định nghĩa theo toán học thông qua hệ thức $\nabla\varphi = (\partial\varphi/\partial x, \partial\varphi/\partial y, \partial\varphi/\partial z) = \operatorname{grad}\varphi$.* Dấu trừ trong (44) được đưa vào theo quy ước, để cho thế ở nơi cao hơn thì lớn hơn. Trong đời sống hằng ngày, khi dạng hình cầu của Trái

* Trong những con dốc 2 hay nhiều chiều hơn độ dốc được viết là $\partial\varphi/\partial z$ – trong đó ∂ vẫn đọc là 'd' – vì trong những trường hợp đó biểu thức $d\varphi/dz$ có ý nghĩa hơi khác. Chi tiết sâu hơn nằm ngoài phạm vi quyển sách này.

đất có thể bỏ qua, thế hấp dẫn là

$$\varphi = gh \,. \qquad (45)$$

Thế φ là một đại lượng thú vị; với chỉ một con số tại mỗi điểm trong không gian ta có thể mô tả các tính chất vector của gia tốc hấp dẫn. Nó tự động biểu diễn trọng lực ở New Zealand tác dụng ngược hướng với trọng lực ở Paris. Ngoài ra, thế dẫn tới việc đưa ra thêm đại lượng *thế năng* U bằng cách đặt

$$U = m\varphi \qquad (46)$$

và như vậy giúp ta xác định được độ biến thiên *động năng* T của một vật rơi từ điểm 1 tới điểm 2 thông qua hệ thức

$$T_1 - T_2 = U_2 - U_1 \qquad \text{hay} \qquad \tfrac{1}{2}m_1\boldsymbol{v}_1{}^2 - \tfrac{1}{2}m_2\boldsymbol{v}_2{}^2 = m\varphi_2 - m\varphi_1 \,. \qquad (47)$$

Nói cách khác, *năng lượng toàn phần*, được định nghĩa là tổng của động năng và thế năng, *được bảo toàn* trong chuyển động do trọng lực. Đây là một tính chất đặc trưng của lực hấp dẫn. Lực hấp dẫn bảo toàn năng lượng và động lượng.

Trang 112
Không phải mọi gia tốc đều có thể dẫn xuất từ một thế; các hệ thống có tính chất này được gọi là *có tính bảo toàn*. Thí nghiệm chứng tỏ rằng gia tốc do ma sát gây ra không bảo toàn nhưng gia tốc do lực điện từ thì có. Tóm lại, ta có thể nói rằng lực hấp dẫn có thể được mô tả bằng một thế hay nó bảo toàn năng lượng và động lượng. Cả 2 có cùng ý nghĩa. Khi hình dạng phi cầu của Trái đất được bỏ qua thế năng của một vật ở độ cao h là

$$U = mgh \,. \qquad (48)$$

Để có thể cảm nhận độ lớn của năng lượng này, bạn hãy trả lời câu hỏi sau. Một cái xe khối lượng 1 Mg rơi xuống một ghềnh đá cao 100 m. Bao nhiêu nước bị hâm nóng từ điểm đông đặc đến điểm sôi bằng năng lượng của xe? Câu đố 332 s

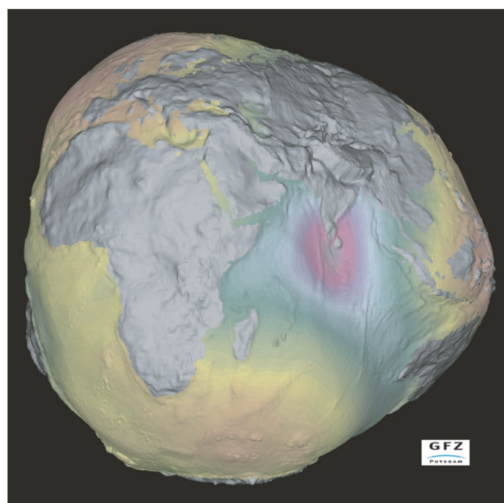
Hình dạng Trái đất

Lực hấp dẫn vạn vật cũng giải thích lý do Trái đất và các hành tinh (gần như) có hình cầu. Vì lực hấp dẫn tăng lên khi khoảng cách giảm đi nên một vật lỏng trong không gian luôn luôn cố lấy dạng hình cầu. Nhìn ở kích cỡ lớn, Trái đất thực sự lỏng. Ta cũng đã biết là Trái đất đang nguội dần – đó là cách mà lớp vỏ và các lục địa được tạo thành. Cầu tính của các vật rắn nhỏ hơn mà ta gặp trong không gian như Mặt trăng chứng tỏ rằng trong quá khứ chúng đã ở thể lỏng.

Như vậy Trái đất không phẳng mà gần như có hình cầu. Do đó, đỉnh của 2 toà cao ốc cách xa nhau hơn là 2 chân đế. Ta có thể đo được hiệu ứng này không? Câu đố 333 s

Cầu tính làm cho việc mô tả chuyển động đơn giản đi rất nhiều. Đối với một hình cầu hay một chất điểm khối lượng M, thế φ sẽ là Câu đố 334 e

$$\varphi = -G\frac{M}{r} \,. \qquad (49)$$



HÌNH 142 Hình dạng của Trái đất, với thang đo chiều cao được phóng đại lên (© GeoForschungsZentrum Potsdam).

Hàm thế sẽ làm cho việc mô tả chuyển động đơn giản đi đáng kể vì thế có cộng tính: nếu ta biết thế của một chất điểm ta có thể tính được thế và chuyển động chung quanh một vật có hình dạng không đều.* Điều thú vị là số chiều d của không gian được mã hoá vào
Câu đố 336 s thế φ của vật hình cầu: sự phụ thuộc của φ vào bán kính r đúng ra là $1/r^{d-2}$. Số mũ $d-2$ đã được kiểm tra bằng thực nghiệm với độ chính xác cực cao; người ta không tìm thấy
Xem 143 sự sai lệch giữa d và 3.

Khái niệm thế hữu dụng trong việc tìm hiểu *hình dạng* của Trái đất chi tiết hơn. Vì
Xem 144 phần lớn Trái đất vẫn còn lỏng khi nhìn ở kích cỡ lớn, bề mặt của nó luôn luôn nằm ngang đối với phương tổng hợp của gia tốc trọng lực và chuyển động quay. Tóm lại, Trái đất *không phải là* một quả cầu. Nó cũng không phải là một ellipsoid. Hình dạng toán
Xem 145 học được xác định bởi các điều kiện cân bằng được gọi là *geoid*. Geoid được minh hoạ trong Hình 142, khác với ellipsoid được chọn cho phù hợp, nhiều nhất là 50 m. Bạn có
Câu đố 337 ny thể mô tả hình geoid toán học này không? Hình geoid là một hình gần đúng tốt nhất đối với hình dạng thực của Trái đất; mực nước biển khác với nó ít hơn 20 m. Độ sai khác

* Ngoài ra, đối với một vật tổng quát, thế cần tìm phải có *divergence* của gradient của nó bằng mật độ khối lượng (hay điện tích) nhân cho một hằng số tỷ lệ. Nói chính xác hơn, ta có

$$\Delta\varphi = 4\pi G\rho \qquad (50)$$

trong đó $\rho = \rho(\boldsymbol{x}, t)$ là mật độ khối của vật, *toán tử Laplace* Δ, đọc là 'delta', được xác định theo công thức $\Delta f = \nabla\nabla f = \partial^2 f/\partial x^2 + \partial^2 f/\partial y^2 + \partial^2 f/\partial z^2$. Phương trình (50) được gọi là *phương trình Poisson* của thế φ. Nó được đặt tên theo Siméon-Denis Poisson (1781–1840), toán gia và vật lý gia kiệt xuất người Pháp. Vị trí mà tại đó ρ khác 0 được gọi là *nguồn* của thế. Thuật ngữ nguồn $\Delta\varphi$ của một hàm là số đo để chỉ ra hàm $\varphi(x)$ ở điểm x khác với giá trị trung bình ở vùng xung quanh điểm đó bao nhiêu. (Bạn có thể chứng minh
Câu đố 335 e điều này bằng cách chứng tỏ rằng $\Delta\varphi \sim \bar{\varphi} - \varphi(x)$ không?) Nói cách khác, phương trình Poisson (50) hàm ý rằng giá trị thực của thế tại một điểm thì bằng giá trị trung bình quanh điểm đó trừ đi mật độ khối lượng nhân cho $4\pi G$. Đặc biệt, trong trường hợp không gian trống rỗng thế tại một điểm bằng trị trung bình của nó chung quanh điểm đó.

Người ta thường đưa ra khái niệm *trường hấp dẫn* $\boldsymbol{g} = -\nabla\varphi$. Ta tránh điều này trong cuộc thám hiểm vì ta sẽ khám phá ra rằng theo Thuyết tương đối, trường không phải là nguồn gốc của lực hấp dẫn; đúng ra ngay cả khái niệm thế hấp dẫn cũng chỉ là khái niệm gần đúng.

này có thể đo được bằng radar vệ tinh và là mối quan tâm lớn nhất của các nhà địa chất và địa lý. Hoá ra Nam cực gần mặt phẳng Xích đạo hơn Bắc cực khoảng 30 m. Có lẽ do khối lượng của đất liền ở Bắc bán cầu lớn hơn.

Trang 138 Ở phần trên ta đã thấy quán tính của vật chất, thông qua 'lực ly tâm', làm tăng bán kính của Trái đất ở Xích đạo. Nói cách khác, Trái đất *dẹt* ở 2 cực. Xích đạo có bán kính a bằng 6.38 Mm, trong khi khoảng cách b từ 2 cực tới tâm Trái đất là 6.36 Mm. Độ dẹt chính xác $(a - b)/a$ có giá trị $1/298.3 = 0.0034$. Kết quả là, đỉnh của núi Chimborazo ở Ecuador, mặc dù chỉ cao có 6267 m trên mực nước biển, lại xa tâm Trái đất nhiều hơn khoảng 20 km so với đỉnh núi Sagarmatha* ở Nepal, có chiều cao trên mực nước biển là 8850 m. Đỉnh núi Chimborazo đúng ra là điểm xa tâm Trái đất nhất. Appendix 17

Hình dạng của Trái đất có một hệ quả quan trọng khác. Nếu Trái đất ngừng quay (nhưng giữ nguyên hình dạng), thì nước của các đại dương sẽ chảy từ Xích đạo tới 2 cực; châu Âu sẽ chìm dưới nước, trừ vài đỉnh của núi Alps là cao hơn khoảng 4 km. Phần Bắc Âu sẽ bị từ 6 km tới 10 km nước bao phủ. Núi Sagarmatha sẽ cao hơn mực nước biển 11 km. Ta cũng sẽ đi nghiêng nghiêng. Nếu ta tính đến sự thay đổi hình dạng của Trái đất, con số thu được sẽ nhỏ hơn. Ngoài ra, sự thay đổi về hình dạng sẽ tạo ra động đất và các cơn bão mãnh liệt. Nếu không có các hiệu ứng này, ta có thể *yên tâm* là ngày mai Mặt trời vẫn mọc, bất chấp những điều mà một số triết gia đã bịa ra. Trang 159

Động lực học – các vật chuyển động trong các chiều khác nhau như thế nào?

Khái niệm thế là một công cụ mạnh. Nếu một vật chỉ có thể chuyển động dọc theo 1 đường – thẳng hay cong, các khái niệm động năng và thế năng đủ để xác định phương thức mà vật chuyển động.

Đúng ra chuyển động *một chiều* bắt nguồn từ sự bảo toàn năng lượng. Đối với một vật chuyển động theo một đường cong đã cho, tốc độ tại mỗi thời điểm được cho bởi sự bảo toàn năng lượng.

Nếu một vật chuyển động trong không gian *2 chiều* – tức là trên mặt phẳng hay cong – *và* nếu lực là *nội lực* (trong lý thuyết luôn luôn là như vậy, nhưng trong thực tế thì không), ta có thể dùng sự bảo toàn moment động lượng. Chuyển động trong không gian 2 chiều bắt nguồn từ sự bảo toàn năng lượng và moment động lượng. Mọi tính chất của sự rơi tự do cũng bắt nguồn từ 2 sự bảo toàn này. (Bạn có thể chứng minh điều này không?) Một lần nữa, hàm thế lại đóng vai trò chủ yếu. Câu đố 338 s

Trong trường hợp chuyển động trong không gian *3 chiều*, ta cần một quy luật xác định chuyển động tổng quát hơn. Nếu có hơn *2 chiều* thì các định luật bảo toàn vừa kể không đủ để xác định chuyển động của vật. Hoá ra chuyển động tổng quát bắt nguồn từ một nguyên lý đơn giản: Trung bình theo thời gian của hiệu động năng và thế năng phải nhỏ nhất. Đây là *nguyên lý tác dụng cực tiểu*. Ta sẽ giải thích chi tiết về phương pháp tính toán này sau. Một lần nữa hàm thế lại là thành phần chính trong việc tính toán sự thay đổi và trong việc mô tả một chuyển động bất kỳ. Trang 248

Đối với các chuyển động đơn giản do hấp dẫn, chuyển động có 2 chiều, trong một mặt phẳng. Phần lớn các bài toán 3 chiều nằm ngoài phạm vi quyển sách này; đúng ra một số bài toán này khó đến nỗi chúng vẫn còn là chủ đề nghiên cứu. Trong cuộc thám

* Núi Sagarmatha đôi khi còn được gọi là núi Everest.



HÌNH 143 Sự thay đổi của Mặt trăng trong tháng, cho thấy sự bình động của nó (QuickTime film © Martin Elsässer)

hiểm này, ta sẽ chỉ tìm hiểu chuyển động 3 chiều trong các trường hợp được lựa chọn mang lại cho ta những hiểu biết sâu sắc.

Mặt trăng

Một ngày trên Mặt trăng dài bao nhiêu? Câu trả lời là gần bằng 29 ngày Trái đất. Đó là thời gian cần thiết để một quan sát viên trên Mặt trăng thấy Mặt trời trở lại vị trí cũ trên bầu trời.

Ta thường nghe nói rằng Mặt trăng luôn luôn hướng một mặt về phía Trái đất. Nhưng điều này không đúng. Như ta có thể kiểm tra bằng mắt trần, một địa hình đặc biệt nằm ở trung tâm của bề mặt Mặt trăng lúc trăng tròn không còn ở trung tâm của nó 1 tuần sau đó. Chuyển động dẫn tới sự thay đổi này được gọi là *bình động*; chúng được trình bày trong film của Hình 143. Chuyển động này xuất hiện chính vì Mặt trăng không vẽ ra một đường tròn mà là một đường ellipse quanh Trái đất và vì trục của Mặt trăng hơi nghiêng khi so với trục quay của nó trong chuyển động quanh Trái đất. Kết quả là chỉ có khoảng 45 % bề mặt của Mặt trăng bị che giấu thường xuyên.

Các hình ảnh đầu tiên của mặt khuất của Mặt trăng đã được vệ tinh nhân tạo của Soviet chụp vào thập niên 1960; các vệ tinh hiện đại cho các bản đồ chính xác hơn, như ta thấy trong Hình 144. (Chỉ cần phóng đại hình này để giải trí.) Mặt khuất thì không đều như mặt nhìn thấy, vì mặt khuất này chặn đứng phần lớn các tiểu hành tinh bị Trái đất hút vào. Như vậy lực hấp dẫn của Mặt trăng đã làm lệch các tiểu hành tinh này khỏi Trái đất. Số động vật tuyệt chủng sẽ giảm đi nhiều nhưng không thể bỏ qua. Nói cách khác, lực hút của Mặt trăng đã nhiều lần cứu loài người khỏi sự tuyệt chủng.*

Câu đố 339 e

* Web page www.minorplanetcenter.net/iau/lists/Closest.html và InnerPlot.html cho ta một con số khá ấn tượng các vật thể gần như đụng vào Trái đất hằng năm. Không có Mặt trăng, ta sẽ có thêm nhiều tai hoạ.



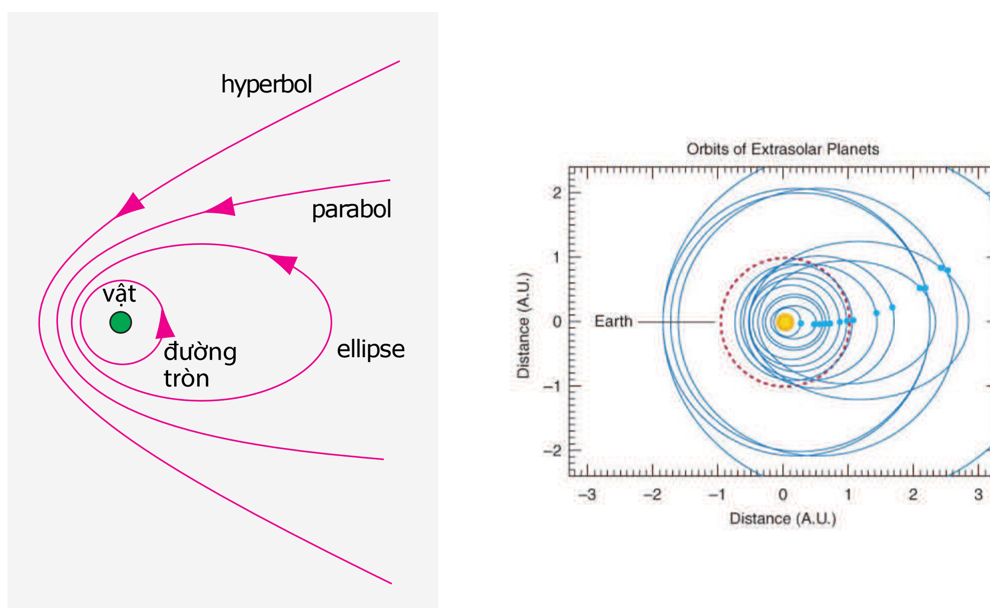
HÌNH 144 Bản đồ có độ phân giải cao (không phải hình chụp) phía gần (hình bên trái) và phía xa (hình bên phải) của Mặt trăng, cho ta thấy mặt xa này đã thường xuyên cứu cho Trái đất khỏi sự va chạm của các thiên thạch (courtesy USGS).

Những chuyến du hành tới Mặt trăng vào thập niên 1970 cũng chứng tỏ rằng Mặt trăng có nguồn gốc từ Trái đất: cách nay đã lâu, một vật chạm vào Trái đất gần như theo phương tiếp tuyến và ném một phần vật chất đáng kể lên cao. Đây là cơ chế duy nhất có thể giải thích cho kích thước lớn, cấu tạo có ít chất sắt, cũng như thành phần vật liệu chung của Mặt trăng. Xem 147

Xem 148 Mặt trăng đang lùi xa Trái đất 3.8 cm một năm. Kết quả này khẳng định cho kết luận trước kia là thuỷ triều làm cho chuyển động quay của Trái đất chậm lại. Bạn có thể hình dung ra cách thực hiện phép đo này hay không? Câu đố 340 s Vì Mặt trăng làm chậm Trái đất nên hình dạng Trái đất cũng thay đổi do hiệu ứng này. (Nên nhớ rằng hình dạng của Trái đất phụ thuộc vào tốc độ quay.) Những thay đổi về hình dạng này ảnh hưởng đến hoạt động kiến tạo của Trái đất và có lẽ là cả sự trôi dạt của các lục địa.

Mặt trăng có nhiều tác dụng lên đời sống động vật. Một thí dụ nổi tiếng là bọ *Clunio*, sống trên bờ biển có thuỷ triều mạnh. Xem 149 Clunio trải qua 6 tới 12 tuần là ấu trùng, thoát ra khỏi trứng và sống ở dạng trưởng thành chỉ 1, 2 giờ, là thời gian mà nó sinh sản. Những con bọ này chỉ sinh sản nếu trứng nở trong con nước ròng của *thuỷ triều mùa xuân*. Thuỷ triều mùa xuân là thuỷ triều mạnh một cách đặc biệt trong thời gian trăng tròn và trăng non, khi tác dụng của Mặt trời và Mặt trăng kết hợp với nhau và chỉ xảy ra theo chu kỳ 14.8 ngày. Năm 1995, Dietrich Neumann đã chứng tỏ rằng ấu trùng này có sẵn 2 đồng hồ, một có chu kỳ ngày và một có chu kỳ tháng âm lịch, cùng nhau kiểm soát sự nở của trứng một cách chính xác trong vài giờ mà côn trùng có thể sinh sản. Ông cũng chứng tỏ rằng đồng hồ tháng được đồng bộ với độ sáng của Mặt trăng vào ban đêm. Nói cách khác, ấu trùng theo dõi Mặt trăng vào ban đêm và quyết định lúc nở: chúng là các nhà thiên văn bé nhất mà ta đã từng biết.

Nếu côn trùng có chu kỳ tháng, thì việc phụ nữ cũng có chu kỳ như vậy không có gì là lạ; tuy nhiên, trong trường hợp này người ta vẫn chưa biết nguồn gốc chính xác của chu kỳ này và nó vẫn còn được nghiên cứu. Xem 150



HÌNH 145 Các quỹ đạo khả hữu, bắt nguồn từ lực hấp dẫn vạn vật, của một vật có khối lượng nhỏ quanh một vật đơn lẻ khối lượng lớn (hình bên trái) và vài thí dụ đo được gần đây (hình bên phải), cụ thể là quỹ đạo của các hành tinh phía ngoài và Trái đất, tất cả đi quanh Mặt trời, với khoảng cách được tính theo đơn vị thiên văn (© Geoffrey Marcy).

Mặt trăng cũng làm cho độ nghiêng của trục Trái đất ổn định, giữ cho nó cố định đối với mặt phẳng chuyển động của Trái đất quanh Mặt trời. Không có Mặt trăng, trục này sẽ đổi hướng một cách bất thường. Ta sẽ không thể có nhịp điệu ngày và đêm đều
Xem 151 đặn. Sẽ có những thay đổi cực lớn về khí hậu và không thể có sự tiến hoá của đời sống.
Xem 152 Không có Mặt trăng, Trái đất cũng sẽ quay nhanh hơn và thời tiết ít ôn hoà hơn. Tác dụng chính còn lại của Mặt trăng trên Trái đất là sự tiến động của trục quay gây ra các
Trang 147 thời kỳ băng giá.

Quỹ đạo của Mặt trăng vẫn còn là đề tài nghiên cứu. Ta vẫn chưa rõ tại sao quỹ đạo Mặt trăng nghiêng 5° so với Hoàng đạo và cách mà quỹ đạo này thay đổi kể từ khi Mặt trăng ra đời. Có thể sự va chạm dẫn tới sự thành lập Mặt trăng làm nghiêng trục quay
Xem 153 của Trái đất và Mặt trăng; sau đó trên 1 tỷ năm, cả 2 trục chuyển động theo những cách phức tạp hướng về Hoàng đạo, cái này nhiều hơn cái kia. Trong sự tiến hoá này, khoảng cách tới Mặt trăng gia tăng khoảng 15 lần.

Quỹ đạo – thiết diện conic và nhiều hơn nữa

Quỹ đạo của một vật chuyển động liên tục chung quanh một vật khác dưới tác dụng của lực hấp dẫn là 1 *ellipse* với vật ở trong là một tiêu điểm. Quỹ đạo có thể là đường tròn vì đường tròn là trường hợp đặc biệt của ellipse. Cuộc gặp gỡ của 2 vật cũng có thể theo đường *parabol* hay *hyperbol*, như ta thấy trong Hình 145. Đường tròn, ellipse, parabol và hyperbol được gọi chung là các *thiết diện conic*. Đó là vì các đường này có thể được tạo
Câu đố 341 e ra bằng cách cắt một hình nón bằng 1 con dao. Bạn có thể khẳng định điều này không?

Nếu các quỹ đạo phần lớn là các ellipse, thì các sao chổi sẽ *trở lại*. Thiên văn gia Anh

Edmund Halley (1656–1742) là người đầu tiên rút ra kết luận này và tiên đoán sự trở lại của một sao chổi. Nó trở lại vào ngày đã tiên đoán năm 1756, sau khi ông qua đời và bây giờ nó mang tên của ông. Chu kỳ của sao chổi Halley là từ 74 đến 80 năm; cảnh tượng đầu tiên đã được ghi nhận cách nay 22 thế kỷ và nó đã được nhìn thấy thêm 30 lần, lần cuối vào năm 1986.

Tuỳ theo năng lượng và moment động lượng ban đầu của vật đối với hành tinh trung tâm, quỹ đạo có thể là *ellipse*, *parabol* hay *hyperbol*. Bạn có thể xác định điều kiện cho
Câu đố 342 s các quỹ đạo này không?

Trong thực tế quỹ đạo parabol không có trong thiên nhiên. (Một số sao chổi hình như tiếp cận trường hợp này khi chuyển động quanh Mặt trời; nhưng hầu như mọi sao chổi đều có quỹ đạo ellipse – miễn là chúng xa các hành tinh khác). Không có quỹ đạo Hyperbol; các vệ tinh nhân tạo đi theo quỹ đạo này khi chúng được phóng về phía hành tinh, thường với mục đích đổi hướng hành trình của vệ tinh khi băng ngang Thái dương hệ.

Tại sao 'định luật' bình phương nghịch đảo dẫn tới thiết diện conic? Trước tiên, đối với 2 vật, moment động lượng toàn phần L không đổi:

$$L = mr^2\dot{\varphi} = mr^2\left(\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}\right) \tag{51}$$

do đó chuyển động nằm trong một mặt phẳng. Năng lượng E cũng không đổi

$$E = \tfrac{1}{2}m\left(\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}\right)^2 + \tfrac{1}{2}m\left(r\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}\right)^2 - G\frac{mM}{r}\ . \tag{52}$$

Câu đố 343 e Từ 2 phương trình trên ta suy ra

$$r = \frac{L^2}{Gm^2M}\ \frac{1}{1+\sqrt{1+\frac{2EL^2}{G^2m^3M^2}}\cos\varphi}\ . \tag{53}$$

Một đường cong có biểu thức tổng quát

$$r = \frac{C}{1+e\cos\varphi} \quad \text{hay} \quad r = \frac{C}{1-e\cos\varphi} \tag{54}$$

đều là một ellipse với $0 < e < 1$, một parabol có $e = 1$ và hyperbol có $e > 1$, một tiêu điểm nằm ở gốc. Đại lượng e, được gọi là *tâm sai*, mô tả độ dẹt của đường cong. Nói cách khác, một vật đi quanh một vật khác theo một thiết diện conic.

Trong tất cả các quỹ đạo, vật nặng cũng chuyển động. Đúng ra cả 2 vật chuyển động quanh khối tâm chung. Cả 2 vật đi theo cùng một loại đường cong – ellipse, parabol hay
Câu đố 344 e hyperbol – nhưng kích thước 2 đường này khác nhau.

Nếu có hơn 2 vật chuyển động dưới tác dụng hấp dẫn tương hỗ thì có thêm nhiều khả năng chuyển động xuất hiện. Sự phân loại và các chuyển động khá này phức tạp. Đúng ra, đây là *Bài toán nhiều vật*, vẫn còn là chủ đề nghiên cứu của thiên văn gia lẫn toán



HÌNH 146 Vệ tinh địa tĩnh, được nhìn thấy ở phần tư phía trên bên trái, chuyển động giữa các ngôi sao và cho ta thấy vị trí của Thiên xích đạo. (MP4 film © Michael Kunze)

gia. Ta hãy xem một vài trường hợp.

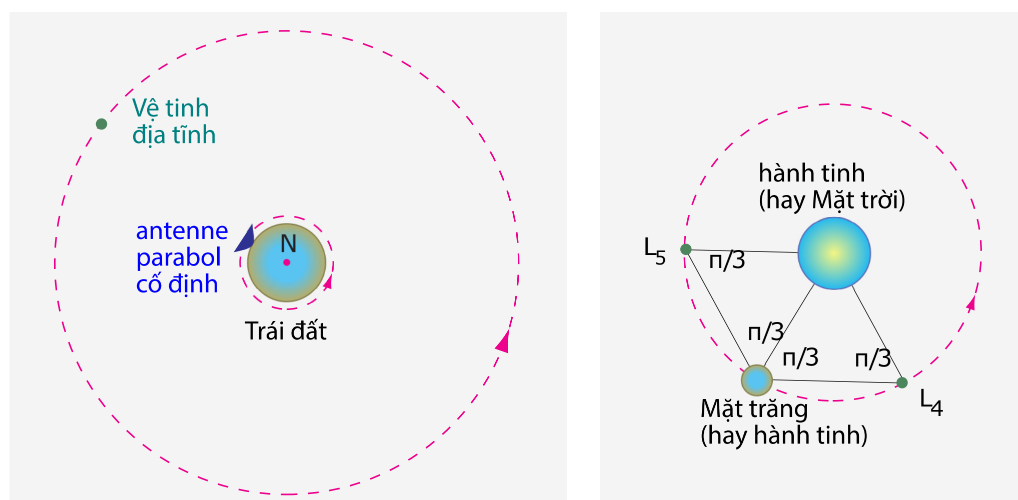
Khi nhiều hành tinh quay quanh 1 ngôi sao, chúng cũng hút lẫn nhau. Như vậy các hành tinh không chuyển động theo các ellipse hoàn hảo. Sai lệch lớn nhất là sự dịch Trang 153 chuyển của điểm cận nhật, như ta thấy trong Hình 114. Nó đã xảy ra cho Thuỷ tinh và một vài hành tinh khác kể cả Trái đất. Các sai lệch khỏi quỹ đạo ellipse xuất hiện trong một vòng quay. Năm 1846, độ sai lệch trong chuyển động của Thiên vương tinh do lực hấp dẫn đã được sử dụng để tiên đoán sự hiện hữu của của một hành tinh khác, Hải vương tinh, đã được khám phá sau đó không lâu.

Trang 106 Ta đã thấy khối lượng luôn luôn dương và lực hấp dẫn luôn là lực hút; *không có lực phản hấp dẫn*. Tuy vậy, lực hấp dẫn có thể sử dụng để nâng vật khác, bằng cách dùng nhiều hơn 2 vật không? Có; có 2 thí dụ.* Đầu tiên là vệ tinh địa tĩnh, được sử dụng để truyền tín hiệu TV và các tín hiệu khác trên Trái đất.

Các điểm bình động Lagrange là thí dụ thứ 2. Được đặt tên theo người khám phá, đây là những điểm trong không gian gần một hệ 2 vật, như Mặt trăng–Trái đất hay Trái đất–Mặt trời, trong đó các vật nhỏ có một vị trí cân bằng ổn định. Một tổng quan được cho trong Hình 147. Bạn có thể tìm thấy vị trí chính xác của chúng, có tính tới chuyển Câu đố 345 s động tự quay, hay không? Có 3 điểm Lagrange trong hệ Trái đất–Mặt trăng (hay Mặt Câu đố 346 d trời–hành tinh). Trong đó có bao nhiêu điểm ổn định?

Có hàng ngàn tiểu hành tinh được gọi là *tiểu hành tinh Trojan*, ở chung quanh các điểm Lagrange của hệ Mặt trời–Mộc tinh. Năm 1990, một tiểu hành tinh Trojan của hệ Hoả tinh–Mặt trời đã được khám phá. Sau cùng, năm 1997, một tiểu hành tinh 'gần như Trojan' được tìm thấy đang theo Trái đất trên quỹ đạo quanh Mặt trời (nó chỉ có tính

* Lực nâng sẽ được bàn chi tiết trong phần Điện động lực học. Quyển III, trang 224



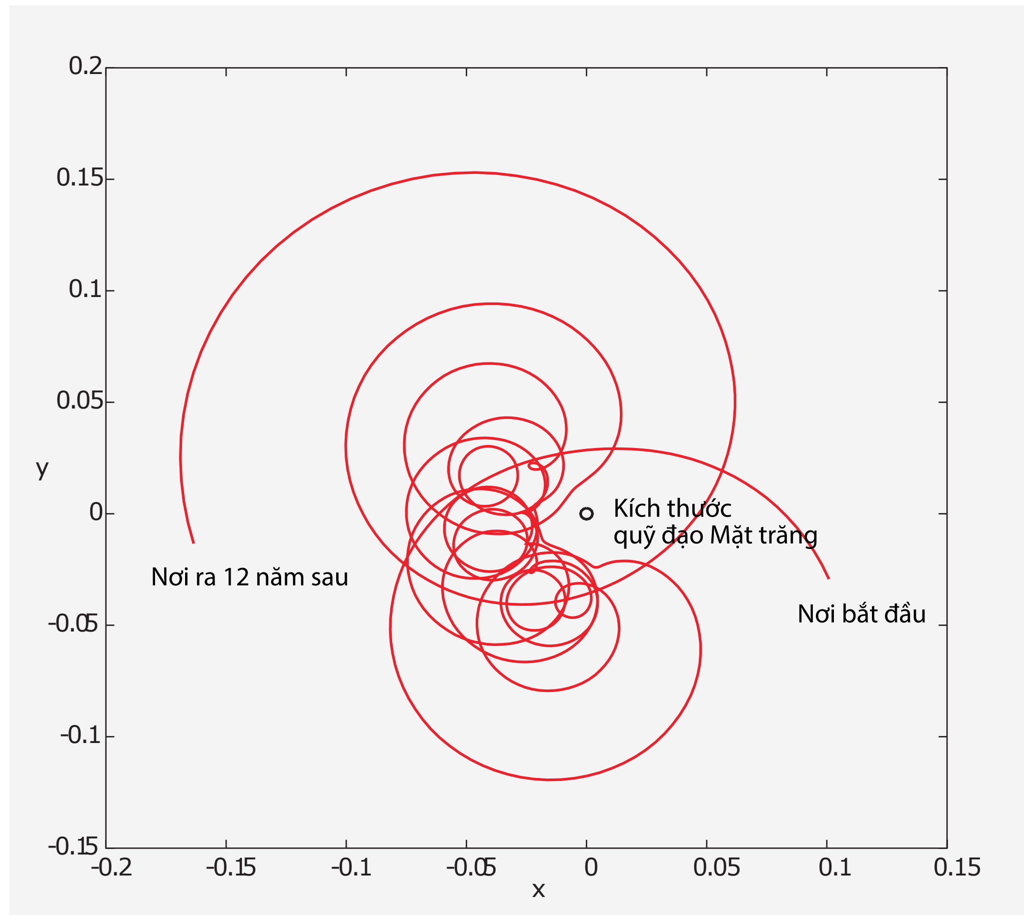
HÌNH 147 Vệ tinh địa tĩnh (hình bên trái) và các điểm Lagrange ổn định chính (hình bên phải).

chuyển tiếp và đi theo một quỹ đạo phức tạp hơn). 'Bạn đồng hành thứ 2' của Trái đất có
Xem 155 đường kính 5 km. Tương tự như vậy, trên các điểm Lagrange chính của hệ Trái đất–Mặt trăng người ta quan sát thấy một sự tập trung bụi khá nhiều.

Các thiên văn gia đã biết rằng có nhiều vật đi theo các quỹ đạo không đều, đặc biệt là
Xem 154 các tiểu hành tinh. Thí dụ như tiểu hành tinh 2003 YN107 như ta thấy trong Hình 148, đã đồng hành với Trái đất trong nhiều năm.

Tóm lại, phương trình $\boldsymbol{a} = -GM\boldsymbol{r}/r^3$ mô tả đúng nhiều hiện tượng trên bầu trời. Người đầu tiên minh giải việc biểu thức này mô tả *mọi điều* xảy ra trên bầu trời là Pierre Simon Laplace trong chuyên luận nổi tiếng của ông *Traité de mécanique céleste*. Khi Napoleon nói với ông rằng ông ta không thấy đề cập tới đấng sáng thế trong quyển sách, Laplace trả lời bằng một câu tóm tắt quyển sách của mình: *Je n'ai pas eu besoin de cette hypothèse*, 'Thần không cần đến giả thuyết này.' Đặc biệt, Laplace đã nghiên cứu sự ổn định của Thái dương hệ, tâm sai của quỹ đạo Mặt trăng và tâm sai của quỹ đạo các hành tinh, luôn luôn kiếm được sự phù hợp hoàn toàn giữa tính toán và thực nghiệm.

Những kết quả này đúng là một kỳ công đối với biểu thức đơn giản của lực hấp dẫn; chúng cũng giải thích được lý do tại sao nó được gọi là 'phổ quát.' Nhưng công thức này *chính xác* đến mức nào? Vì thiên văn học cung cấp các phép đo chuyển động hấp dẫn chính xác nhất nên nó cũng cung cấp các phép kiểm chứng nghiêm ngặt nhất. Năm 1849, Urbain Le Verrier đã kết luận sau nhiều năm nghiên cứu kỹ lưỡng là chỉ có một trường hợp không nhất quán đã biết giữa quan sát và lực hấp dẫn vạn vật, cụ thể là Thuỷ tinh. (Ngày nay có thêm vài trường hợp nữa.) Điểm gần Mặt trời nhất trên quỹ đạo Thuỷ tinh, *điểm cận nhật* của nó, quay quanh Mặt trời với tốc độ nhỏ hơn tiên đoán: ông đã tìm
Xem 156 thấy một độ khác biệt nhỏ, khoảng 38″ mỗi thế kỷ. (Số này đã được chỉnh lại thành 43″ mỗi thế kỷ vào năm 1882 bởi Simon Newcomb.) Le Verrier đã nghĩ rằng sự khác biệt này là do một hành tinh nằm giữa Thuỷ tinh và Mặt trời, *Vulcan*, mà ông đã săn lùng nó trong nhiều năm nhưng không thành công. Thật ra Vulcan không hiện hữu. Giải thích đúng cho điều này phải nhờ đến Albert Einstein.
Quyển II, trang 168



HÌNH 148 Một thí dụ về quỹ đạo không đều, một phần được đo và một phần được tính toán, do lực hấp dẫn của nhiều vật: quỹ đạo của chuẩn-vệ tinh tạm thời của Trái đất năm 2003 YN107 trong toạ độ địa tâm. Tiểu hành tinh này, đường kính 20(10) m, bị bắt vào quỹ đạo gần Trái đất khoảng năm 1995 và vẫn còn như vậy vào năm 2006. Vòng tròn đen đại diện cho quỹ đạo của Mặt trăng quanh Trái đất. (© Seppo Mikkola).

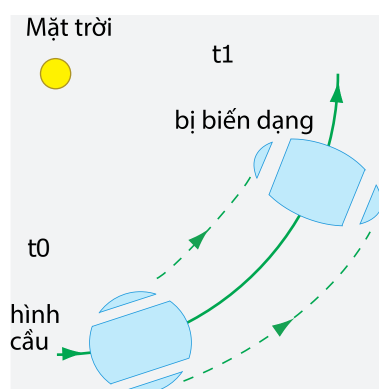
Hiện tượng triều

Xem 157 Tại sao sách giáo khoa Vật lý luôn nói về hiện tượng triều? Vì thường thường, như Thuyết tương đối tổng quát sẽ cho ta thấy, hiện tượng này chứng tỏ rằng không gian bị uốn cong! Như vậy nghiên cứu kỹ hiện tượng này cũng có ích. Hình 149 cho thấy thuỷ triều có thể kỳ dị đến cỡ nào. Lực hấp dẫn giải thích thuỷ triều là kết quả của lực hút nước biển của Mặt trăng và Mặt trời. Thuỷ triều thật thú vị; mặc dù biên độ thuỷ triều chỉ vào khoảng 0.5 m trên biển khơi, nó có thể lên tới 20 m một số nơi đặc biệt gần bờ biển. Bạn có biết Câu đố 347 s tại sao không? *Đất* cũng bị Mặt trời và Mặt trăng nâng lên, hạ xuống khoảng 0.3 m, như Xem 56 các vệ tinh đã đo được. Ngay cả *khí quyển* cũng có khí triều và sự thay đổi áp suất có thể Xem 158 được loại ra khỏi số đo áp suất do thời tiết.

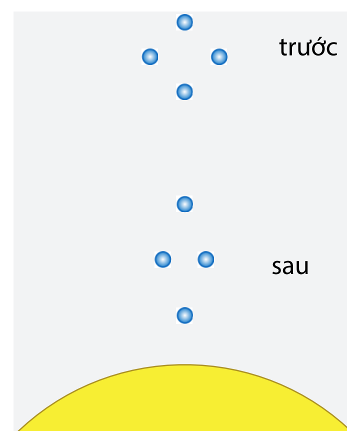
Hiện tượng triều xuất hiện đối với vật *bị kéo dài* đang chuyển động trong trường hấp dẫn của một vật khác. Để hiểu nguồn gốc của hiện tượng triều, hãy vẽ hình một vật



HÌNH 149 Thuỷ triều ở Saint-Valéry en Caux ngày 20/09/2005 (© Gilles Régnier).



HÌNH 150 Sự biến dạng do hiện tượng triều bắt nguồn từ lực hấp dẫn.



HÌNH 151 Nguồn gốc của hiện tượng triều.

trên quỹ đạo, như Trái đất và tưởng tượng các thành phần của nó, như các phần trong Hình 150, được gắn với nhau bằng các lò xo. Lực hấp dẫn khiến cho các phần xa trung tâm sẽ chuyển động chậm hơn. Kết quả là phần bên ngoài quỹ đạo cũng chuyển động chậm hơn; nhưng nó bị phần còn lại của vật *co kéo* thông qua các lò xo. Trái lại phần bên trong sẽ chuyển động nhanh hơn nhưng bị các phần khác *ngăn lại*. Bị kéo chậm lại, phần bên trong có khuynh hướng rơi về phía Mặt trời. Tóm lại, cả 2 phần bị kéo ra xa

tâm của vật, nhưng sự biến dạng bị lò xo giới hạn lại. Do đó *vật có tính linh hoạt bị biến dạng theo hướng không thuần nhất của trường.*

Do kết quả của các triều lực, Mặt trăng (gần như) luôn luôn đưa một mặt về phía Trái đất. Ngoài ra, bán kính của nó theo hướng về phía Trái đất thì lớn hơn bán kính vuông góc với hướng đó khoảng 5 m. Nếu các lò xo bên trong quá yếu, vật bị tách thành nhiều mảnh; một *vành* của các phần có thể được thành lập theo cách này, như vành các tiểu hành tinh giữa Hoả tinh và Mộc tinh hay các vành quanh Thổ tinh.

Chúng ta hãy trở lại Trái đất. Nếu một vật có nước bao quanh, nó sẽ tạo nên những phần lồi theo hướng tác dụng của trường hấp dẫn. Để đo và so sánh cường độ của thuỷ triều của Mặt trời và Mặt trăng, ta giảm các tác dụng triều xuống giá trị cực tiểu. Như ta thấy trong Hình 151, ta có thể nghiên cứu sự biến dạng của một vật do lực hấp dẫn bằng cách nghiên cứu sự sắp xếp của 4 vật. Ta có thể nghiên cứu trường hợp rơi tự do vì chuyển động trên quỹ đạo và rơi tự do tương đương với nhau. Lực hấp dẫn làm một số mảnh tới gần nhau và một số mảnh tách xa nhau, tuỳ theo vị trí tương đối của chúng. Hình vẽ đã chứng tỏ rằng độ biến dạng – nước không có lò xo bên trong – phụ thuộc vào độ biến thiên của gia tốc hấp dẫn theo khoảng cách; nói cách khác, gia tốc *tương đối* dẫn tới việc thuỷ triều tỷ lệ với đạo hàm của gia tốc hấp dẫn.

Trang 452 Sử dụng các con số từ Phụ lục 17, gia tốc hấp dẫn do Mặt trời và Mặt trăng gây ra cho Trái đất là

$$a_{\text{Sun}} = \frac{GM_{\text{Sun}}}{d^2_{\text{Sun}}} = 5.9\,\text{mm/s}^2$$
$$a_{\text{Moon}} = \frac{GM_{\text{Moon}}}{d^2_{\text{Moon}}} = 0.033\,\text{mm/s}^2 \qquad (55)$$

như vậy lực hút của Mặt trăng yếu hơn lực hút của Mặt trời khoảng 178 lần.

Khi hai vật gần nhau rơi đến gần một vật lớn, gia tốc tương đối tỷ lệ với khoảng cách của chúng và bằng $da = (da/dr)\,dr$. Hệ số tỷ lệ $da/dr = \nabla a$, được gọi là (gradient) *gia tốc thuỷ triều*, là số đo thực của hiệu ứng thuỷ triều. Gần một khối cầu lớn M, nó là
Câu đố 348 e

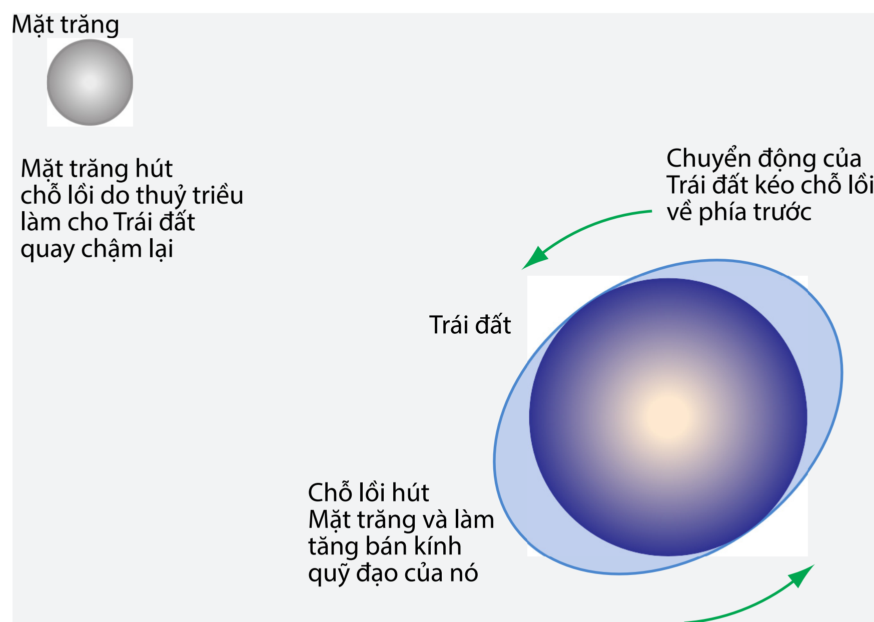
$$\frac{da}{dr} = -\frac{2GM}{r^3} \qquad (56)$$

sẽ cho kết quả là

$$\frac{da_{\text{Sun}}}{dr} = -\frac{2GM_{\text{Sun}}}{d^3_{\text{Sun}}} = -0.8 \cdot 10^{-13}\,/\text{s}^2$$
$$\frac{da_{\text{Moon}}}{dr} = -\frac{2GM_{\text{Moon}}}{d^3_{\text{Moon}}} = -1.7 \cdot 10^{-13}\,/\text{s}^2\,. \qquad (57)$$

Nói cách khác, dù Mặt trăng kéo yếu hơn nhưng thuỷ triều của nó được tiên đoán là *mạnh hơn gấp đôi* thuỷ triều của Mặt trời; điều này đã xảy ra như vậy. Khi Mặt trời, Mặt trăng và Trái đất thẳng hàng, hai triều cộng với nhau; đây là *thuỷ triều mùa Xuân* đặc biệt mạnh và xảy ra sau 14.8 ngày, lúc trăng tròn và trăng non.

Thuỷ triều dẫn tới một bài toán đẹp. Thuỷ triều Mặt trăng mạnh hơn thuỷ triều Mặt



HÌNH 152 Trái đất, Mặt trăng và tác dụng ma sát của thuỷ triều (không đúng tỷ lệ).

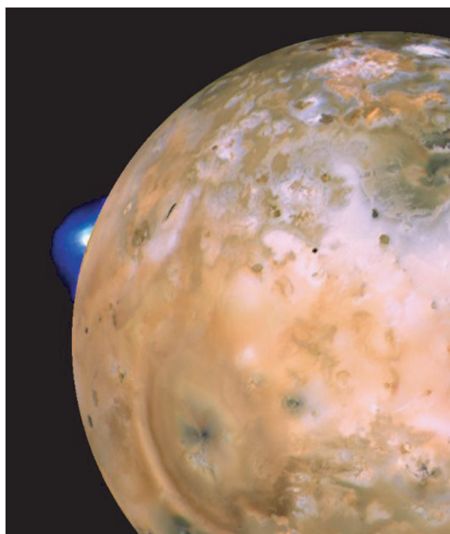
Câu đố 349 s trời. Điều này hàm ý Mặt trăng đặc hơn Mặt trời. Tại sao?

Thuỷ triều cũng tạo ra *ma sát*, như ta thấy trong Hình 152. Ma sát khiến cho chuyển động quay của Trái đất chậm lại. Hiện nay, tốc độ chậm dần có thể đo được bằng các đồng hồ chính xác (mặc dù các độ biến thiên thời gian do các hiệu ứng khác, như thời Xem 115 tiết, thường lớn hơn). Kết quả này phù hợp với các kết quả hoá thạch chứng tỏ rằng cách nay 400 triệu năm, trong kỷ Devon, một năm có 400 ngày và một ngày có 22 giờ. Người Quyển II, trang 236 ta ước tính rằng cách nay 900 triệu năm, mỗi ngày trong 481 ngày của một năm dài 18.2 giờ. Ma sát là nguyên nhân của sự chậm dần này cũng làm gia tăng khoảng cách Mặt Câu đố 350 s trăng - Trái đất khoảng 3.8 cm mỗi năm. Bạn có thể giải thích điều này không?

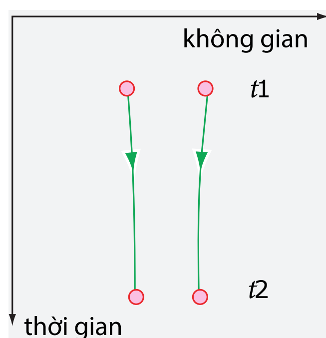
Như đã đề cập ở trên, chuyển động địa triều cũng là nguồn kích phát của *động đất*. Như vậy Mặt trăng cũng có thể gây ra các tác dụng nguy hiểm trên Trái đất. (Không may sự hiểu biết về cơ chế này không cho ta tiên đoán được động đất.) Thí dụ hấp dẫn nhất của hiệu ứng triều là hiện tượng xảy ra trên vệ tinh Io của Mộc tinh. Hiện tượng triều mạnh đến nỗi chúng gây ra các hoạt động mãnh liệt của núi lửa như ta thấy trong Hình 153, với các đợt phun trào cao 500 km. Nếu hiện tượng mạnh hơn, chúng có thể phá huỷ toàn bộ vật, như đã xảy ra đối với các vật giữa Hoả tinh và Mộc tinh tạo nên các tiểu hành tinh, hay (có thể) là các vệ tinh tạo thành các vành của Thổ tinh.

Tóm lại, hiện tượng triều bắt nguồn từ gia tốc tương đối của các chất điểm gần nhau. Điều này có một hệ quả quan trọng. Trong chương Thuyết tương đối tổng quát ta sẽ Quyển II, trang 140 thấy rằng thời gian nhân với tốc độ ánh sáng đóng vai trò như chiều dài. Thời gian trở thành một chiều phụ như ta thấy trong Hình 154. Sử dụng sự tương tự này, hai hạt rơi tự do chuyển động cùng hướng tương ứng với các đường song song trong không-thời gian. Hai hạt rơi cạnh nhau cũng tương ứng với các đường song song. Hiện tượng triều chứng tỏ rằng các hạt tiến đến gần nhau. Nói cách khác, hiện tượng triều làm cho các đường song song tiến đến gần nhau. Nhưng các đường song song tiến đến gần nhau *chỉ*

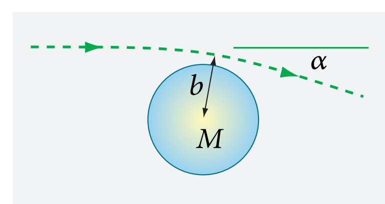
Quyển II, trang 195



HÌNH 153 Một kết quả ngoạn mục của hiện tượng triều: núi lửa phun trên Io (NASA).



HÌNH 154 Các hạt rơi cạnh nhau tiến đến gần nhau theo thời gian.



HÌNH 155 Khối lượng uốn cong ánh sáng.

khi không-thời gian bị uốn cong. Tóm lại, hiện tượng triều làm cho không-thời gian và không gian *bị uốn cong*. Lập luận đơn giản này có thể đã được đưa ra vào thế kỷ 18; tuy vậy phải mất thêm 200 năm nữa cộng với thiên tài của Albert Einstein, nó mới được khám phá.

Ánh sáng có rơi không?

> “Die Maxime, jederzeit selbst zu denken, ist die Aufklärung.”
>
> Immanuel Kant*

Cuối thế kỷ 17 người ta khám phá ra rằng ánh sáng có vận tốc hữu hạn – một câu chuyện mà ta sẽ kể chi tiết ngay sau đây. Một thực thể chuyển động với vận tốc vô hạn không bị

Quyển II, trang 17

* Cách ngôn để ta luôn tâm niệm là Sự minh khai.

ảnh hưởng của lực hấp dẫn vì không có thời gian tác dụng. Một thực thể có tốc độ hữu hạn sẽ cảm thấy lực hấp dẫn và rơi xuống.

Tốc độ của ánh sáng có tăng lên khi nó đến mặt đất hay không? Trong gần 3 thế kỷ người ta không phát hiện được một hiệu ứng nào như vậy; vì vậy không ai nghiên cứu câu hỏi này. Vào năm 1801, thiên văn gia Phổ Johann Soldner (1776–1833) là người đầu Xem 159 tiên đặt câu hỏi theo cách khác. Là thiên văn gia ông thường đo các góc quan sát của ngôi sao. Ông nhận ra là ánh sáng khi đi ngang gần một vật nặng sẽ *bị lệch* do lực hấp dẫn.

Soldner nghiên cứu một vật có quỹ đạo hyperbol, chuyển động với vận tốc c ngang qua một vật hình cầu khối lượng M cách một khoảng b (đo từ tâm hình cầu), như trong Câu đố 351 ny Hình 155. Soldner suy ra góc lệch là

$$\alpha_{\text{univ. grav.}} = \frac{2}{b}\frac{GM}{c^2} \,. \tag{58}$$

Góc lệch lớn nhất khi chuyển động lướt ngang gần vật M. Đối với ánh sáng bị Mặt trời làm lệch, góc lệch lớn nhất là $0.88\,'' = 4.3\,\mu\text{rad}$. Ở thời Soldner, góc này quá nhỏ nên không thể đo được. Vấn đề bị quên lãng. Nếu người ta cứ đeo bám theo điều này thì có lẽ Thuyết tương đối tổng quát sẽ bắt đầu là một khoa học thực nghiệm chứ không phải là một nỗ lực về mặt lý thuyết của Albert Einstein! Tại sao? Giá trị vừa được tính ra *khác* Quyển II, trang 166 *với* giá trị đo được. Phép đo đầu tiên xảy ra vào năm 1919;* đúng là có sự phụ thuộc vào khoảng cách nhưng kết quả góc lệch đo được lên tới $1.75\,''$, gấp đôi giá trị của biểu thức (58). Không dễ tìm ra nguyên do; đúng ra nó bắt nguồn từ sự cong của không gian như ta sẽ thấy. Tóm lại, ánh sáng có thể rơi nhưng vấn đề này còn chứa nhiều điều đáng kinh ngạc.

Khối lượng: quán tính và hấp dẫn

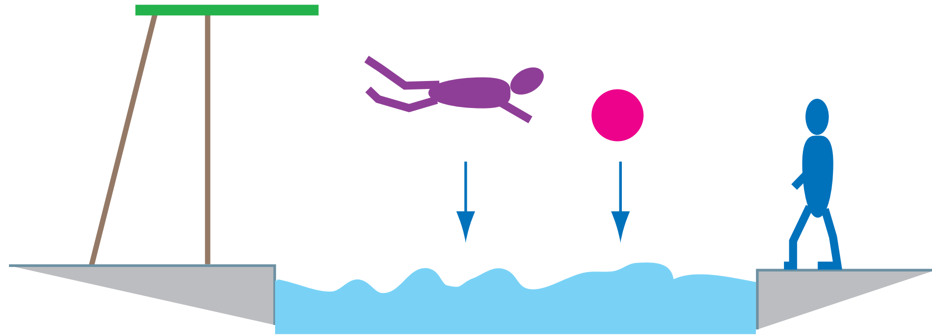
Khối lượng mô tả cách một vật tương tác với vật khác. Trong cuộc hành trình ta đã gặp 2 phương diện của nó. *Khối lượng quán tính* là tính chất giữ cho vật chuyển động và cung cấp sự cản trở đối với sự thay đổi chuyển động của nó. *Khối lượng hấp dẫn* là tính chất gây ra gia tốc cho các vật lân cận (mặt chủ động) hay bị các vật lân cận gia tốc (mặt thụ động). Mặt chủ động của khối lượng Trái đất xác định gia tốc của các vật trên mặt đất; mặt thụ động của các vật cho phép ta cân chúng để xác định khối lượng bằng cách sử dụng khoảng cách, thí dụ như dùng một cái cân. Khối lượng hấp dẫn là nền tảng của Câu đố 353 ny *trọng lượng*, của sự khó khăn trong việc nhấc bổng một vật.**

Khối lượng hấp dẫn có bằng khối lượng quán tính không? Câu trả lời theo kinh nghiệm là một vật khó chuyển động thì cũng khó nhấc lên. Thí nghiệm đơn giản nhất là lấy 2 vật khác khối lượng và để chúng rơi xuống. Nếu gia tốc giống nhau đối với mọi vật, khối lượng quán tính bằng khối lượng hấp dẫn (thụ động) vì trong hệ thức $ma = \nabla(GMm/r)$ m bên trái đúng là khối lượng quán tính còn m bên phải đúng là khối lượng hấp dẫn.

Trong thế kỷ 17 Galilei đã đưa ra một lập luận cũ hơn và được nhiều người biết, chứng tỏ rằng không có một thí nghiệm nào mà gia tốc hấp dẫn thực sự *giống nhau* đối với mọi

Câu đố 352 s * Cũng hỏi thêm là bạn làm cách nào để đo góc lệch của tia sáng đi gần Mặt trời sáng chói?

** Cân chỉ bao nhiêu đối với một người 85 kg đang tung hứng 3 trái banh 0.3 kg?



HÌNH 156 Trái banh đang rơi đang chuyển động quán tính đối với quan sát viên đang rơi và đang chuyển động hấp dẫn đối với quan sát viên trên mặt đất. Do đó, khối lượng quán tính bằng khối lượng hấp dẫn.

vật. Vật lớn hơn rơi nhanh hơn vật nhỏ hơn nên nghịch lý sau đây sẽ xuất hiện. Một vật bất kỳ có thể xem như được cấu tạo từ một phần lớn gắn với một phần nhỏ. Nếu vật nhỏ rơi chậm hơn, nó sẽ làm vật lớn đi chậm lại, nên toàn thể vật sẽ phải rơi *chậm hơn* phần lớn (hay vỡ thành nhiều mảnh). Trong lúc đó, vật thì lớn hơn thành phần của nó sẽ rơi *nhanh hơn* phần đó. Điều này rõ ràng là không thể xảy ra: mọi vật đều rơi với cùng một gia tốc.

Nhiều thí nghiệm chính xác đã được thực hiện từ khi Galileo đưa ra lập luận trên. Tất cả các thí nghiệm đều khẳng định sự độc lập của gia tốc rơi tự do đối với khối lượng và thành phần của vật liệu, trong phạm vi sai số cho phép. Nói cách khác, các thí nghiệm khẳng định:

Xem 160

▷ Khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính *bằng nhau*.

Nguồn gốc của sự bằng nhau huyền bí này là gì?

Sự bằng nhau này không huyền bí chút nào. Chúng ta hãy trở lại định nghĩa của khối lượng là -(nghịch đảo tỷ số gia tốc). Ta đã nói rằng nguồn gốc vật lý của gia tốc không có vai trò gì trong định nghĩa này vì nó không xuất hiện trong biểu thức. Nói cách khác, khối lượng theo định nghĩa độc lập với sự tương tác. Điều đó có ý nghĩa đặc biệt là khối lượng quán tính, dựa trên cũng như có thể đo được bằng tương tác điện từ và khối lượng hấp dẫn bằng nhau *theo định nghĩa*.

Trang 101

Cách chứng minh tốt nhất cho sự bằng nhau này được minh hoạ trong Hình 156: nó chứng tỏ rằng 2 khái niệm chỉ khác nhau do quan điểm của quan sát viên. Khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn mô tả cùng một hiện tượng.

Ta cũng nên nhớ rằng ta đã không định nghĩa một khái niệm tách rời về 'khối lượng hấp dẫn thụ động'. (Khái niệm này thỉnh thoảng được thấy trong các bài báo.) Khối lượng

được lực hấp dẫn gia tốc là khối lượng quán tính. Tệ hơn, không có cách để xác định sự khác nhau giữa 'khối lượng hấp dẫn thụ động' và khối lượng quán tính. Bạn thử làm
Câu đố 354 s
xem! Mọi phương pháp đo khối lượng hấp dẫn thụ động, như cân một vật, không thể phân biệt với các phương pháp xác định khối lượng quán tính từ phản ứng của nó đối với gia tốc. Thật vậy, mọi phương pháp sử dụng đều có cùng một cơ chế phi hấp dẫn. Cân thể trọng là một thí dụ như vậy.

Thật ra nếu 'khối lượng hấp dẫn thụ động' khác với khối lượng quán tính ta sẽ có một hệ quả kỳ lạ. Không chỉ khó trong việc phân biệt 2 loại khối lượng này trong một thí nghiệm; đối với những vật có hai khối lượng khác nhau ta sẽ gặp trở ngại với sự bảo
Câu đố 355 e
toàn năng lượng.

Đúng ra, việc giả sử 'khối lượng hấp dẫn (chủ động)' khác với khối lượng quán tính cũng gây cho chúng ta vài điều phiền toái. 'Khối lượng hấp dẫn' khác với khối lượng quán tính như thế nào? Sự khác nhau có phụ thuộc vào vận tốc tương đối, thời gian, vị trí, thành phần hay khối lượng vật không? Không. Các khả năng này đều mâu thuẫn với
Câu đố 356 s
sự bảo toàn năng lượng và động lượng.

Tóm lại, không có gì lạ khi mọi phép đo đều khẳng định sự bằng nhau của mọi loại khối lượng: không có tuỳ chọn nào khác – như Galilei đã nêu ra. Điều này bắt nguồn từ sự tương đương cơ bản của các định nghĩa khối lượng:

▷ Tỷ số khối lượng là tỷ số gia tốc.

Chủ đề này thường được 'tân trang' lại trong Thuyết tương đối tổng quát mà không có
Quyển II, trang 162
kết quả nào mới, vì định nghĩa khối lượng vẫn như cũ. Hai loại khối lượng vẫn bằng nhau. Tóm lại:

▷ Khối lượng là tính chất đơn nhất của một vật.

Mặc dù vậy vẫn còn vấn đề khác, sâu sắc hơn. *Nguồn gốc* của khối lượng là gì? Tại sao nó hiện hữu? Vật lý cổ điển không thể trả lời câu hỏi đơn giản nhưng sâu sắc này. Ta cần một chút kiên nhẫn để tìm ra câu trả lời.

Những câu đố vui và lạ về lực hấp dẫn

> Fallen ist weder gefährlich noch eine Schande;
> Liegen bleiben ist beides.*
>
> Konrad Adenauer

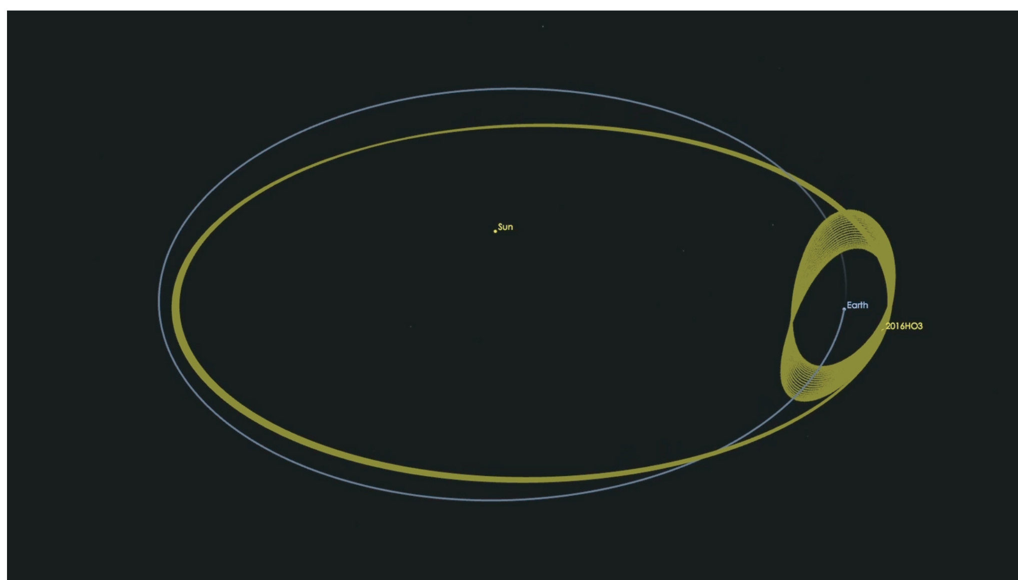
Lực hấp dẫn trên Mặt trăng chỉ bằng 1/6 trọng lực trên Trái đất. Tại sao điều này khiến cho ta khó đi và chạy nhanh trên Mặt trăng (như ta có thể thấy qua các hình ảnh trên TV đã ghi lại ở đó)?

* *

Câu đố 357 e
Tìm hiểu và giải thích mệnh đề sau: cân đòn đo khối lượng, cân lò xo đo trọng lượng.

* *

* 'Vấp ngã không có gì nguy hiểm hay xấu hổ; nói dối thì có cả hai.' Konrad Adenauer (b. 1876 Köln, d. 1967 Rhöndorf), Thủ tướng Tây Đức.



HÌNH 157 Quỹ đạo theo tính toán của chuẩn vệ tinh 2016 HO3, một bạn đồng hành tạm thời của Trái đất (courtesy NASA).

Trái đất có các vệ tinh khác ngoài Mặt trăng và các vệ tinh nhân tạo phóng lên quỹ đạo bằng các hoả tiễn không? Có. Trái đất có một số vệ tinh nhỏ và một số lớn các chuẩn vệ tinh. Một chuẩn vệ tinh lâu đời, một thiên thạch được gọi là 2016 HO3, có kích thước khoảng 60 m và được khám phá vào năm 2016. Như ta thấy trong Hình 157, nó quay quanh Trái đất và sẽ tiếp tục như vậy trong vài trăm năm nữa, ở khoảng cách từ 40 tới 100 lần khoảng cách tới Mặt trăng.

* *

Hãy chứng tỏ rằng một hình cầu nảy – không mất mát năng lượng – trên một mặt phẳng nghiêng, sẽ chạm mặt này tại các điểm có khoảng cách tăng dần một lượng không đổi sau mỗi lần nảy.

* *

Gia tốc do lực hấp dẫn có không đổi theo thời gian không? Không hoàn toàn như vậy. Người ta ước tính có 10^8 kg vật chất rơi vào Trái đất mỗi ngày dưới dạng vẫn thạch và thiên thạch. (Ta có thể thấy trong Hình 158 và Hình 159.) Tuy vậy, người ta không biết rằng khối lượng của Trái đất có tăng theo thời gian (do sự tích tụ của vẫn thạch và bụi vũ trụ) hay giảm đi (do sự thoát khí) hay không. Nếu bạn tìm ra cách giải quyết vấn đề này, hãy công bố nó.

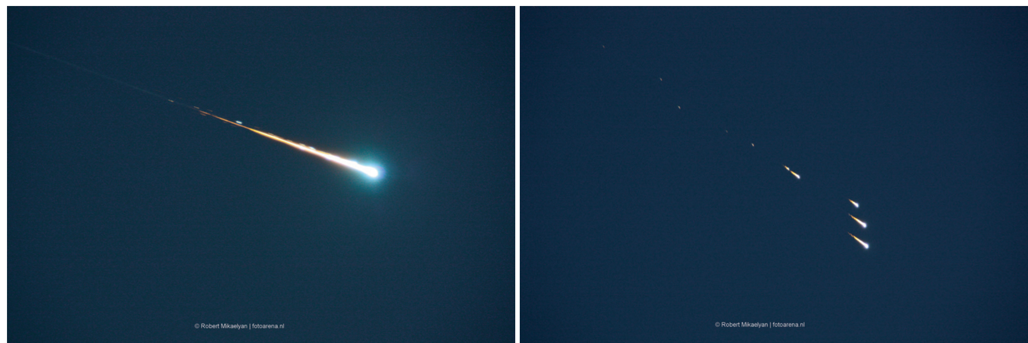
* *

Cũng cần nói thêm việc khám phá các vật đụng vào Trái đất không dễ dàng chút nào. Các thiên văn gia muốn chứng tỏ rằng một thiên thạch lớn như vật đã dẫn tới sự tuyệt diệt các con khủng long có thể chạm vào Trái đất mà không có thiên văn gia nào biết trước, nếu hướng của nó hơi khác thường, như đi từ phía Nam, nơi có ít kính thiên văn.



HÌNH 158 Một ảnh ghép của mưa sao băng Perseid có thể thấy được hằng năm vào giữa tháng 8. Trong tháng đó, Trái đất đi ngang đám mây các mảnh vụn bắt nguồn từ sao chổi Swift–Tuttle và nguồn gốc của các sao băng xuất hiện nằm trong chòm sao Anh tiên vì đó là hướng mà Trái đất đang chuyển động trong tháng 8. Hiệu ứng và hình ảnh giống như những gì ta thấy trên kính chắn gió lúc lái xe trong khi tuyết rơi. (© Brad Goldpaint at goldpaintphotography.com).

Trang 157



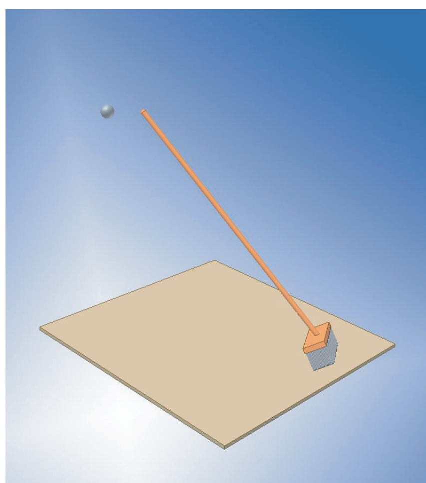
HÌNH 159 Hai hình, chụp cách nhau khoảng 1s, cho thấy một sao băng vị vỡ ra (© Robert Mikaelyan).

* *

Nhiều người đã sống sót khi rơi từ phi cơ trên cao cả ngàn mét hay hơn, mặc dù họ không có mang dù. Một vài người thậm chí còn không bị thương tổn gì. Điều này có thể xảy ra như thế nào?

Câu đố 358 s

* *


HÌNH 160 Chổi rơi nhanh hơn hòn đá (© Luca Gastaldi).

Hãy tưởng tượng bạn có 12 đồng tiền giống nhau, trong số đó có một đồng tiền giả. Đồng này có khối lượng khác với 11 đồng còn lại. Làm cách nào để bạn tìm ra đồng giả này và xác định là nó nhẹ hơn hay nặng hơn đồng thật chỉ với 3 lần cân? Câu đố 359 e

Bạn có 9 quả cầu trông giống nhau, cùng khối lượng, ngoại trừ một quả cầu nặng hơn. Bạn có thể tìm ra nó bằng 2 lần cân hay không?

* *

Đối với một vật lý gia, *phản trọng lực* là lực đẩy – nó không có trong thiên nhiên. Tuy vậy, thuật ngữ 'phản trọng lực' được nhiều người dùng không đúng, như ta có thể tìm thấy trên Internet. Một số người gọi một hiệu ứng bất kỳ *vượt qua* trọng lực là 'phản trọng lực'. Tuy vậy, định nghĩa này khiến cho bàn ghế là các thiết bị phản trọng lực. Theo định nghĩa này nhiều nhà sản xuất đồ gỗ, thép hay bê tông là các nhà kinh doanh phản trọng lực. Định nghĩa trên Internet hoàn toàn vô nghĩa.

* *

Câu đố 360 s Cách rẻ nhất để làm mất trọng lực trong vòng 25s?

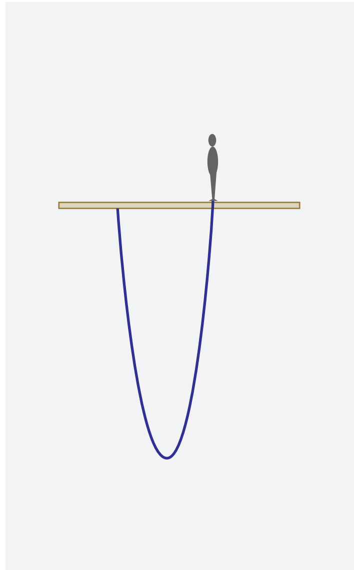
* *

Có phải mọi vật trên Trái đất rơi với cùng một gia tốc là $9.8\,\mathrm{m/s^2}$ không, khi ta bỏ qua sức cản không khí? Không; mọi người nội trợ đều biết điều đó. Bạn có thể tự kiểm tra điều này. Như ta thấy trong Hình 160, một cây chổi làm một góc khoảng 35° chạm vào sàn nhà trước một hòn đá, như tiếng chạm sàn đã khẳng định. Bạn có thể giải thích lý do không? Câu đố 361 s

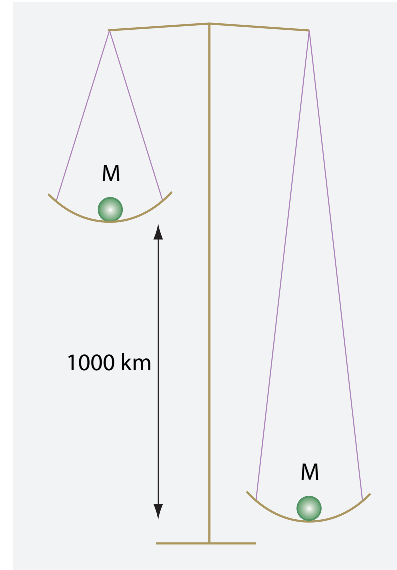
* *

Người nhảy bungee có gia tốc lớn hơn g. Đối với sợi dây có khối lượng m và người nhảy có khối lượng M, gia tốc cực đại là

$$a = g\left(1 + \frac{m}{8M}\left(4 + \frac{m}{M}\right)\right) . \qquad (59)$$



HÌNH 161 Trạng thái ban đầu của một người nhảy bungee.



HÌNH 162 Cân có trung thực không?

Câu đố 362 s Bạn có thể suy ra công thức này từ Hình 161 không?

* *

Câu đố 363 s Thử đoán: khối lượng của một trái banh bằng liège bán kính 1 m?

* *

Thử đoán: một ngàn trái banh sắt đường kính 1 mm được gom lại. Khối lượng của chúng
Câu đố 364 s là bao nhiêu?

* *

Bạn có thể sử dụng một cái cân thể trọng và sự quan sát trong một cuộc du lịch như thế
Câu đố 365 s nào để chứng tỏ rằng Trái đất không phẳng?

* *

Cả Trái đất và Mặt trăng đều hút các vật khác. Khối tâm của hệ Trái đất-Mặt trăng cách tâm Trái đất 4800 km, khá gần bề mặt của nó. Tại sao mọi vật vẫn rơi về phía tâm Trái
Câu đố 366 s đất?

* *

Mọi vật hình cầu có rơi với cùng một gia tốc không? Không. Nếu khối lượng của vật có thể so sánh với khối lượng Trái đất, khoảng cách giảm đi theo cách khác. Bạn có thể
Câu đố 367 e chứng minh điều này không? Hình 162 cho thấy bài toán liên quan. Như vậy có điều gì
Trang 202 sai trong lý luận của Galilei về gia tốc của sự rơi tự do là không đổi?

* *





HÌNH 163 Việc giảm sức cản không khí làm tăng tốc độ sau cùng: hình bên trái, người giữ kỷ lục thế giới năm 2007 về tốc độ trượt tuyết Simone Origone với tốc độ 69.83 m/s và hình bên phải, người giữ kỷ lục thế giới năm 2007 về tốc độ xe đạp trên tuyết Éric Barone với tốc độ 61.73 m/s (© Simone Origone, Éric Barone).

Tốc độ nhanh nhất mà một người có thể đạt được bằng cách sử dụng gia tốc hấp dẫn? Có nhiều phương pháp khác nhau để làm việc này; một vài cách được trình bày trong Hình 163. Tốc độ sau cùng của những tay nhảy dù lúc rơi tự do có thể cao hơn, nhưng không có kỷ lục nào đáng tin cậy. Chưa có kỷ lục cuối cùng vì các kỷ lục này sẽ bị vượt qua trong những năm tới. Điều quan trọng là phải có một độ cao bình thường; ở tầng bình lưu, tốc độ có thể bằng 4 lần tốc độ ở độ cao thấp.

Quyển II, trang 141

* *

Đặt một vật 1 kg lên bàn thì dễ. 20 kg thì khó hơn. 1000 kg thì không được. Tuy vậy, $6 \cdot 10^{24}$ kg thì lại dễ. Tại sao?

Câu đố 368 s

* *

Trang 200

Câu đố 369 ny

Câu đố 370 s

Ma sát giữa Trái đất và Mặt trăng làm cho chuyển động quay của cả hai chậm lại. Mặt trăng ngừng quay và Trái đất cũng sẽ như vậy. Khi Trái đất ngừng quay, Mặt trăng sẽ thôi xa rời Trái đất. Lúc đó Mặt trăng cách Trái đất bao xa? Tuy vậy sau đó, trong tương lai xa hơn, Mặt trăng sẽ di chuyển về phía Trái đất do ma sát giữa hệ Trái đất–Mặt trăng và Mặt trời. Mặc dù hiệu ứng này chỉ xảy ra nếu Mặt trời sáng mãi, một điều ta biết không đúng, bạn có thể giải thích điều đó được không?

* *

Khi bạn chạy về phía Đông bạn sẽ *giảm trọng lượng*. Có 2 lý do: gia tốc ‘ly tâm’ tăng lên nên lực kéo bạn xuống sẽ giảm đi và lực Coriolis xuất hiện có tác dụng tương tự. Bạn có



HÌNH 164 Bốn vệ tinh của Mộc tinh do Galilei khám phá và chuyển động của chúng (© Robin Scagell).

Câu đố 371 ny thể ước tính độ lớn của hai hiệu ứng này không?

* *

Các phòng thí nghiệm sử dụng 2 loại máy siêu ly tâm: máy siêu ly tâm *chuẩn bị* để cô lập virus, các bào quan và các sinh phân tử, trong khi máy siêu ly tâm *phân tích* đo hình dạng và khối lượng của các đại phân tử. Các kiểu máy thương mại nhanh nhất đạt tới tốc độ 200 000 rpm, hay 3.3 kHz và gia tốc ly tâm $10^6 \cdot g$.

* *

Hệ thức giữa thời gian hòn đá rơi qua một khoảng l và thời gian con lắc dao động qua nửa vòng bán kính l? (Bài toán này do Galilei đưa ra.) Bằng cách này người ta có thể xác định được bao nhiêu chữ số thập phân của π? Câu đố 372 s

* *

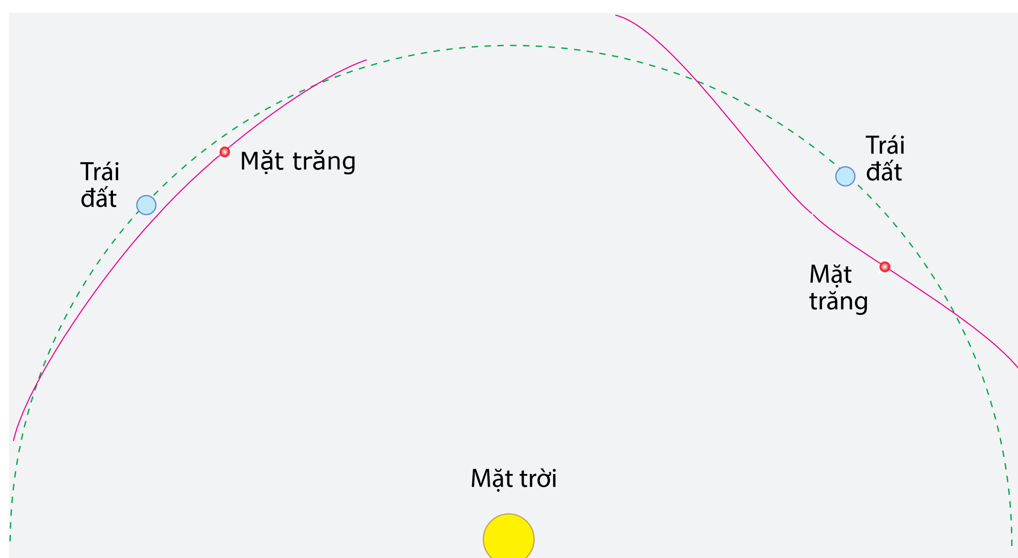
Tại sao một phi thuyền có thể được gia tốc nhờ *hiệu ứng trợ lực* khi đi ngang qua một hành tinh, mặc dù động lượng bảo toàn? Người ta cũng suy đoán rằng hiệu ứng này cũng là lý do một vài ngôi sao đi nhanh khác thường trong thiên hà. Thí dụ như sao HE0457-5439 chuyển động với tốc độ 720 km/s, lớn hơn từ 100 tới 200 km/s so với tốc độ của các sao nhanh nhất trong Ngân hà. Hình như tâm gia tốc là một hố đen. Câu đố 373 s Xem 161

* *

Quỹ đạo của một hành tinh quanh Mặt trời có nhiều đặc điểm thú vị. Tốc đồ của quỹ đạo này là gì? Tốc đồ của các quỹ đạo parabol và hyperbol? Xem 162 Câu đố 374 s

* *

Các vệ tinh Galilei của Mộc tinh, trong Hình 164, có thể quan sát được bằng các kính



HÌNH 165 Đường nào trong 2 quỹ đạo của Mặt trăng là đường đúng?

thiên văn tài tử nhỏ. Galilei đã khám phá ra chúng năm 1610 và gọi chúng là *các vệ tinh Medici*. (Ngày nay, chúng được đặt tên theo thứ tự khoảng cách tăng dần đến Mộc tinh là Io, Europa, Ganymede và Callisto.) Đó là tên các nhân vật thần thoại. Chúng là các vật đầu tiên mà người ta thấy là không quay quanh Trái đất; do đó Galilei sử dụng chúng để suy ra rằng Trái đất không phải là tâm của vũ trụ. Các vệ tinh này cũng là các ứng viên đầu tiên cho một *đồng hồ chuẩn* vì chuyển động của chúng có thể tiên đoán với độ chính xác cao nên người ta có thể đọc được 'giờ chuẩn' từ vị trí của chúng. Sau cùng, cũng từ độ chính xác cao này, năm 1676, lần đầu tiên người ta đã đo được tốc độ ánh sáng, như đã kể trong phần Thuyết tương đối đặc biệt.

Quyển II, trang 18

* *

Một câu hỏi đơn giản nhưng khó: nếu mọi vật hút nhau, tại sao mọi ngôi sao đã không rơi vào nhau? Đúng ra, biểu thức bình phương nghịch đảo của lực hấp dẫn có một giới hạn: nó không cho ta phát biểu một cách hợp lý về vật chất trong vũ trụ. Lực hấp dẫn vạn vật tiên đoán rằng một sự phân bố khối lượng thuần nhất sẽ không bền; thật vậy, ta đã quan sát thấy một sự phân bố khối lượng không thuần nhất. Tuy vậy, nó không tiên đoán được mật độ khối lượng trung bình, sự tối đen của màn đêm, tốc độ của các thiên hà ở xa v.v... Đúng ra lực hấp dẫn vũ trụ không giải thích hay tiên đoán một tính chất nào của vũ trụ. Để làm được điều này ta cần Thuyết tương đối tổng quát.

Câu đố 375 s

Quyển II, trang 216

* *

Gia tốc g do trọng lực ở độ sâu 3000 km là 10.05 m/s^2, lớn hơn 2 % so với mặt đất. Điều này có thể xảy ra như thế nào? Trên cao nguyên Tây Tạng, g cũng bị ảnh hưởng bởi vật liệu bên dưới nó.

Xem 163

* *

Khi Mặt trăng quay quanh Mặt trời, quỹ đạo của nó có những phần *lõm* về phía Mặt trời
Câu đố 376 s như ta thấy ở bên phải của Hình 165, hay không lõm như ta thấy ở bên trái? (Độc lập với vấn đề này, cả 2 quỹ đạo trong sơ đồ đều che giấu việc quỹ đạo của Mặt trăng *không* nằm trong cùng mặt phẳng với quỹ đạo của Trái đất quanh Mặt trời.)

* *

Bạn có thể chứng minh rằng mọi vật *hút lẫn nhau* (chứ không chỉ bị Trái đất hút) bằng một thí nghiệm mà ai cũng có thể thực hiện ngay tại nhà như được mô tả trong website www.fourmilab.ch/gravitation/foobar.

* *

Một việc làm có ích là tính toán *vận tốc thoát* khỏi Trái đất, tức là vận tốc ném một vật để nó không rơi trở lại mặt đất. Hoá ra nó khoảng 11 km/s. (Vận tốc này trước kia được gọi là *vận tốc vũ trụ thứ 2*; *vận tốc vũ trụ thứ 1* là tên của vận tốc nhỏ nhất để vật đi trên quỹ đạo quanh Trái đất, 7.9 km/s.) Giá trị đúng của vận tốc thoát phụ thuộc vào vĩ độ
Câu đố 377 e của người ném và hướng ném. (Tại sao?)

Vận tốc thoát khỏi Thái dương hệ là bao nhiêu? (Trước kia nó được gọi là *vận tốc vũ trụ thứ 3*.) Ngoài ra vận tốc thoát khỏi Ngân hà là trên 500 km/s. Điều gì sẽ xảy ra nếu
Câu đố 378 s một hành tinh hay một hệ nặng đến nỗi vận tốc thoát lớn hơn tốc độ ánh sáng?

* *

Câu đố 379 s Tiểu hành tinh lớn nhất mà người ta có thể thoát ra bằng cách nhảy?

* *

Đối với những vật có hình dạng không đều, trọng tâm của vật *không* giống với khối
Câu đố 380 s tâm. Bạn có thể khẳng định điều này không? (Gợi ý: hãy tìm và dùng những thí dụ thật đơn giản.)

* *

Lực hấp dẫn có tạo ra sự đẩy không? Điều gì sẽ xảy ra cho một vật thử nhỏ đặt bên trong
Câu đố 381 ny một khối lượng lớn hình chữ C? Nó có bị đẩy về phía tâm của khối đó không?

* *

Một cuộc tranh cãi quyết liệt về sự bằng nhau của khối lượng quán tính và khối lượng
Xem 164 hấp dẫn đã xảy ra giữa Chubykalo và Vlaev. Động năng toàn phần T của 2 vật quay quanh khối tâm chung của chúng như Trái đất và Mặt trăng là $T = GmM/2R$, trong đó m và M là khối lượng *hấp dẫn* của 2 vật và R là khoảng cách giữa chúng. Từ biểu thức này, nơi khối lượng quán tính *không* xuất hiện bên vế phải nên ta suy ra là khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn phải tỷ lệ với nhau. Bạn thấy như thế nào? Lý luận này
Câu đố 382 s có đúng không?

* *

Xem 165 *Hình dạng* của Trái đất không phải là hình cầu. Kết quả là, một dây dọi thường không
Câu đố 383 ny hướng về phía tâm Trái đất. Độ lệch lớn nhất là bao nhiêu độ?

* *



HÌNH 166 Hành tích trên Delphi, chụp từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2002 (© Anthony Ayiomamitis).

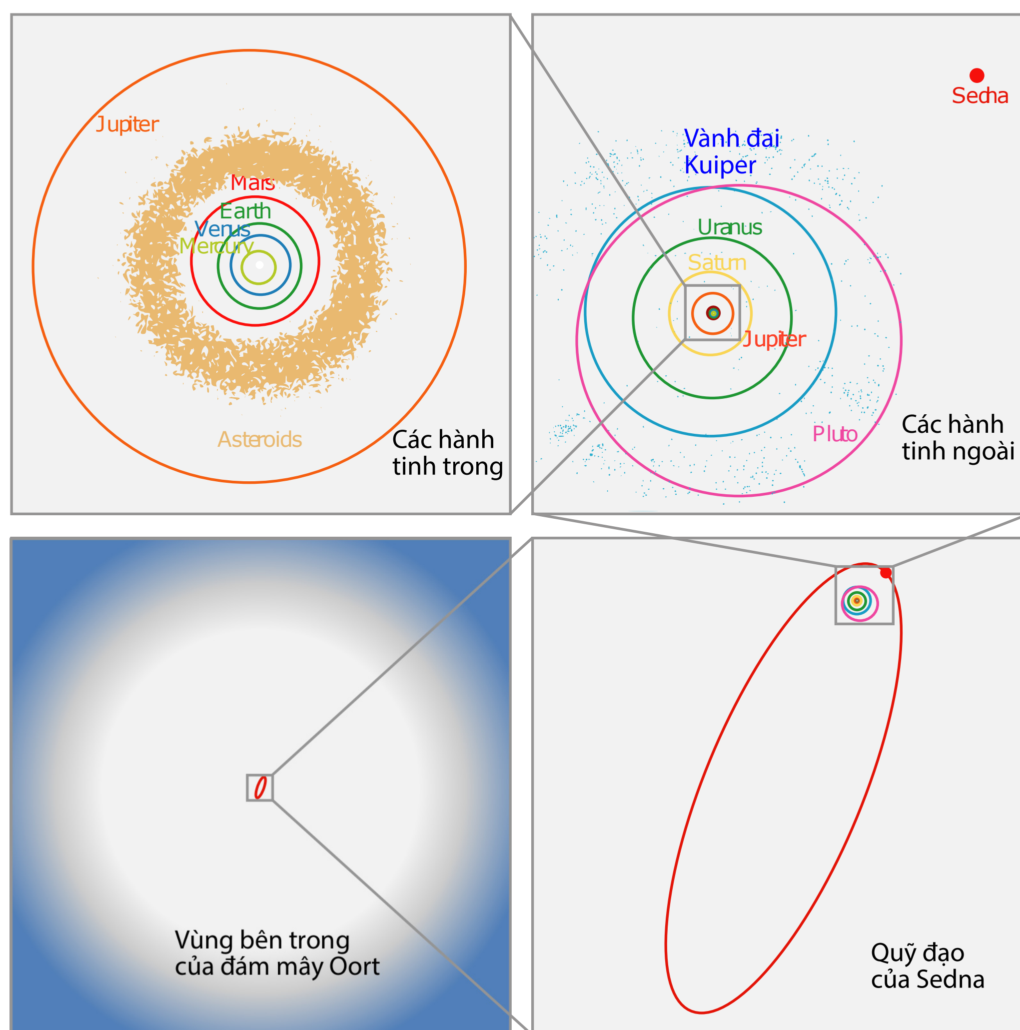
Do hình dạng hơi dẹt của Trái đất, nguồn của sông Mississippi gần tâm Trái đất hơn cửa sông 20 km; nước xem như chảy ngược lên. Làm thế nào điều này có thể xảy ra được? Câu đố 384 s

* *

Nếu bạn nhìn bầu trời mỗi ngày vào lúc 6h sáng, vị trí của Mặt trời sẽ thay đổi suốt trong năm. Kết quả của việc chụp hình Mặt trời trên cùng một phim được trình bày trong Hình 166. Đường cong này được gọi là hành tích, bắt nguồn từ 2 hiệu ứng: độ nghiêng của trục Trái đất và hình dạng ellipse của quỹ đạo Trái đất quanh Mặt trời. Đỉnh và đáy (ẩn) của hành tích tương ứng với các chí điểm. Hành tích sẽ trông như thế nào nếu ta chụp hình mỗi ngày vào buổi trưa? Tại sao nó không phải là một đường thẳng chỉ đúng về phía Nam? Câu đố 385 s

* *

Chòm sao mà Mặt trời đứng trong đó vào buổi trưa (tâm của múi giờ) được gọi là 'cung hoàng đới' của ngày đó. Các nhà chiêm tinh nói có 12 cung, cụ thể là Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpius, Sagittarius, Capricornus, Aquarius và Pisces và mỗi cung chiếm (khá chính xác) 1/12 của một năm hay 1/12 của hoàng đạo. Việc kiểm tra bằng lịch cho thấy là hiện nay, Mặt trời giữa ngày không bao giờ ở trong cung hoàng đạo trong những ngày kết nối với nó. Mối liên hệ này đã bị dịch đi khoảng 1 tháng từ khi nó được định nghĩa, do sự tiến động của trục Trái đất. Kiểm tra bằng bản đồ sao ta sẽ thấy 12 chòm sao không có cùng chiều dài và trên hoàng đạo có 14 chòm sao. Có chòm sao *Ophiuchus* hay *Serpentarius*, Xà phu, ở giữa Scorpius và Sagittarius, và *Cetus*, Kình ngư, giữa Aquarius và Pisces. Thật ra không có phát biểu thiên văn nào đúng về Trang 153



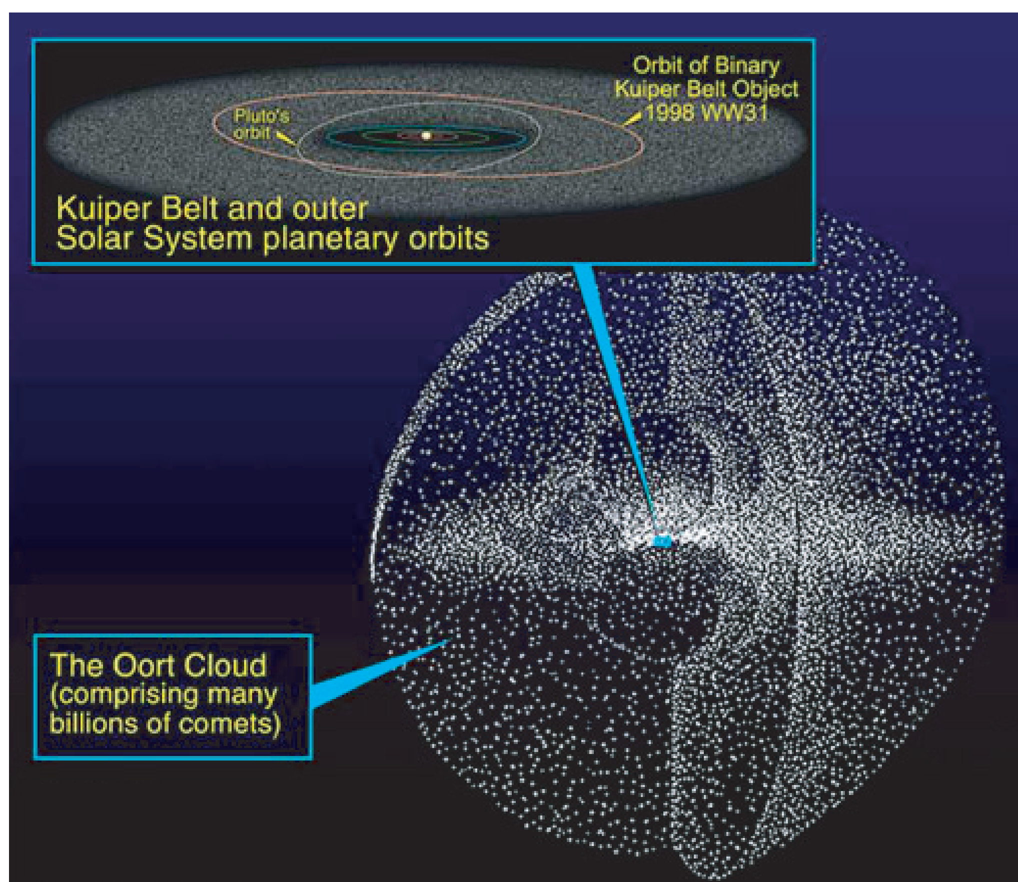
HÌNH 167 Quỹ đạo của Sedna so với quỹ đạo của các hành tinh trong Thái dương hệ (NASA).

Xem 166 các cung hoàng đới. Nói cho rõ ràng thì khoa chiêm tinh, trái với tên gọi của nó, *không* nói về các ngôi sao. (Trong tiếng Đức, từ 'Strolch', có nghĩa là 'kẻ lừa đảo' hay 'tên vô lại', dẫn xuất từ chữ 'chiêm tinh gia'.)

* *

Trong một thời gian dài, người ta nghĩ rằng không có thêm hành tinh nào trong Thái Xem 167 dương hệ bên ngoài Hải vương tinh và Tử vương tinh, vì quỹ đạo của chúng không bị nhiễu loạn từ vật khác. Ngày nay, quan niệm này đã thay đổi. Người ta đã biết rằng chỉ có 8 hành tinh: Tử vương tinh không phải là hành tinh mà là vật đầu tiên trong tập hợp các vật nhỏ hơn được gọi là *vành đai Kuiper*. Các vật trong vành đai Kuiper được khám phá một cách đều đặn; ngày nay người ta đã biết trên 1000 vật.

Năm 2003, hai vật thể Kuiper chính được khám phá; một là *Sedna*, lớn như Pluto, hai Xem 168 là *Eris*, lớn hơn cả Pluto và có 1 vệ tinh. Cả hai đều có quỹ đạo ellipse dài (xem Hình 167).



HÌNH 168 Vành đai Kuiper, chứa nhiều tiểu hành tinh và đám mây Oort, chứa các sao chổi, chung quanh Thái dương hệ (NASA, JPL, Donald Yeoman).

Vì Pluto và Eris, giống như tiểu hành tinh Ceres, có quỹ đạo không có mảnh vụn, nên ngày nay 3 vật thể này được phân loại là *hành tinh lùn*.

Bên ngoài vành đai Kuiper, Thái dương hệ được *đám mây Oort* bao quanh. Khác với vành đai Kuiper có dạng dẹt, đám mây Oort hình cầu và có bán kính lên tới 50 000 AU, như ta thấy trong Hình 167 và Hình 168. Đám mây Oort gồm một số khổng lồ các vật thể băng giá chủ yếu là nước và một lượng ít hơn, methane và ammonia. Các vật thể từ đám mây Oort đi vào vùng bên trong Thái dương hệ trở thành sao chổi; trong quá khứ xa xưa, những vật thể đó đã mang nước đến Trái đất.

* *

Trong Thiên văn học người ta thường xuyên khám phá ra những hiện tượng mới về chuyển động ngay trong thế kỷ này. Đôi khi cũng có những báo động sai. Thí dụ như việc cho là có *các sao chổi mini* rơi trên Trái đất. Chúng được giả sử được tạo thành từ hàng chục kg nước đá, chạm vào mặt đất trong mỗi giây. Điều này không xảy ra. Xem 169

* *

Lực hấp dẫn vạn vật chỉ cho phép các quỹ đạo hình ellipse, parabol hay hyperbol. Không thể có một vật nhỏ đến gần một vật lớn rồi bị bắt lấy. Ít nhất đó là điều chúng ta biết cho tới nay. Tuy vậy, mọi cuốn sách thiên văn đều kể những câu chuyện về sự thu nạp trong Thái dương hệ; thí dụ như nhiều vệ tinh ngoài của Thổ tinh đã bị thu nạp. Việc này có
Câu đố 386 s thể xảy ra như thế nào?

* *

Một đường hầm phải có hình dạng như thế nào để một hòn đá rơi xuyên qua nó mà không chạm tường? (Giả sử mật độ không đổi.) Nếu Trái đất không quay, đường hầm sẽ là đường thẳng xuyên qua tâm của nó và hòn đá sẽ rơi xuống và đi lên theo kiểu dao động. Vì Trái đất quay nên bài toán này khó hơn. Nếu bắt đầu ở Xích đạo thì đường hầm
Câu đố 387 s có hình gì?

* *

Trạm không gian quốc tế đi vòng quanh Trái đất mỗi 90 phút ở độ cao khoảng 380 km. Bạn có thể thấy vị trí của nó từ website www.heavens-above.com. Ngoài ra, khi nó ở ngay chân trời, nó sẽ là vật sáng thứ 3 trên bầu trời đêm, chỉ kém Mặt trăng và Kim tinh.
Câu đố 388 e Hãy ngắm nhìn nó.

* *

Câu đố 389 s Có đúng là khối tâm của Thái dương hệ luôn luôn ở trong Mặt trời không? Mặc dù Trái đất hay một ngôi sao di chuyển rất ít khi hành tinh chuyển động quanh chúng, người ta vẫn có thể phát hiện ra chuyển động này với những phép đo chính xác bằng cách sử
Quyển II, trang 33 dụng hiệu ứng Doppler cho sóng ánh sáng hay sóng vô tuyến. Mộc tinh tạo ra một độ biến thiên 13 m/s trong tốc độ Mặt trời, phần Trái đất là 1 m/s. Những hành tinh đầu tiên bên ngoài Thái dương hệ, chung quanh pulsar PSR1257+12 và sao Pegasi 51 kiểu G, được khám phá bằng cách này vào năm 1992 và 1995. Trong thời gian đó nhiều ngàn ngoại hành tinh đã được khám phá bằng nhiều phương pháp khác. Một số có khối lượng cỡ Trái đất. Điều này cũng chứng tỏ rằng các ngoại hành tinh nhiều hơn ngôi sao và các hành tinh giống–Trái đất khá hiếm.

* *

Không phải mọi điểm trên Trái đất nhận được cùng một số giờ chiếu ánh trong một
Câu đố 390 d năm. Tuy vậy các hiệu ứng này khó tìm ra. Bạn có thể tìm ra không?

* *

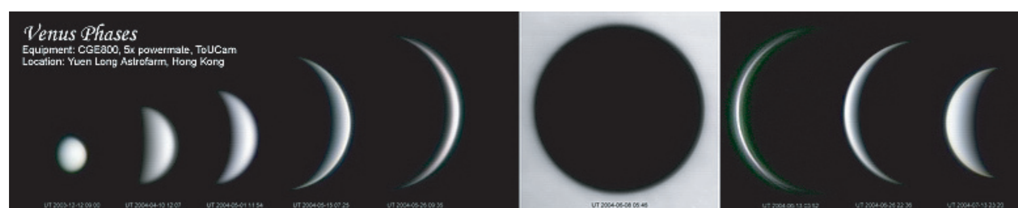
Các phase của Mặt trăng có tác dụng nhận thấy được trên cơ thể người thông qua các
Câu đố 391 s hiệu ứng triều hay không?

* *

Có một sự khác nhau quan trọng giữa hệ nhật tâm và các tư tưởng lạc hậu là các hành tinh quay quanh Trái đất. Hệ nhật tâm cho rằng các hành tinh như Thuỷ tinh và Kim tinh, có thể *ở giữa* Trái đất và Mặt trời vào một lúc nào đó và *ở sau* Mặt trời vào lúc khác. Trái lại, hệ địa tâm cho rằng chúng luôn luôn ở giữa. Tại sao với một sự khác nhau quan trọng như vậy mà hệ địa tâm lại không bị phế bỏ ngay? Và các phase như ta thấy trong
Câu đố 392 s Hình 169 và Hình 170, đã phế bỏ hệ địa tâm như thế nào?



HÌNH 169 Các phase của Mặt trăng và Kim tinh quan sát từ Athens vào mùa hè năm 2007 (© Anthony Ayiomamitis).



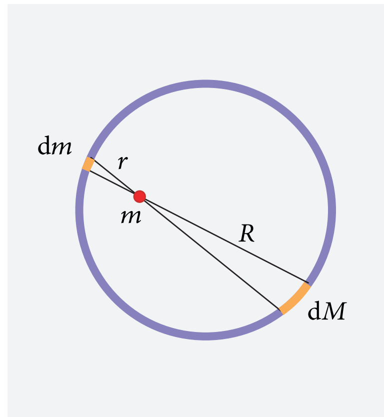
HÌNH 170 Lực hấp dẫn vạn vật cũng giải thích cho các quan sát về Kim tinh,tức sao Hôm và sao Mai. Đặc biệt, lực hấp dẫn vạn vật, hàm ý cả việc quỹ đạo hành tinh là ellipse, giải thích được cho các phase và sự thay đổi kích thước góc của Kim tinh. Các hình ở đây được chụp vào năm 2004 và 2005. Ta có thể quan sát một cách dễ dàng bằng một ống nhòm hay một kính thiên văn nhỏ (© Wah!; film available at apod.nasa.gov/apod/ap060110.html).

* *

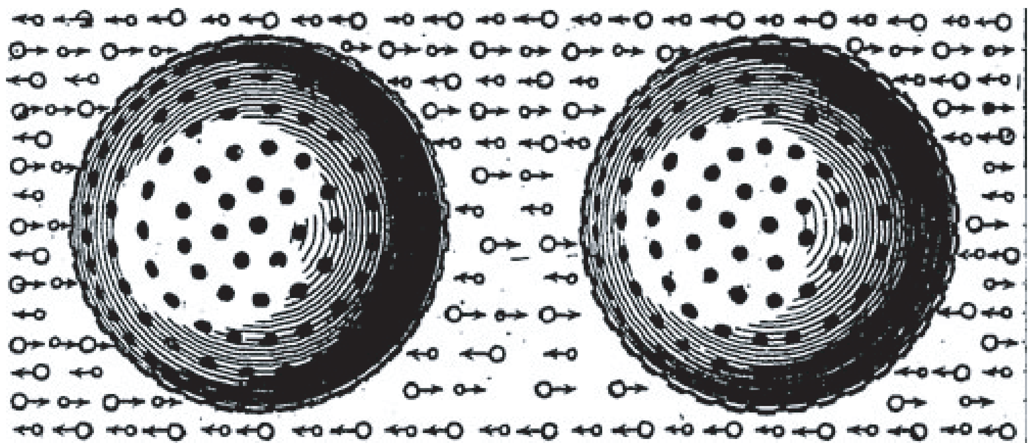
Dạng cải tiến kỳ lạ nhất của sự mô tả chuyển động cho bởi phương trình $m\boldsymbol{a} = \nabla U$ là Xem 170 phương trình trông có vẻ ngớ ngẩn sau đây

$$\nabla v = \mathrm{d}\boldsymbol{v}/\mathrm{d}s \qquad (60)$$

trong đó s là chiều dài đường đi. Nó được gọi là *dạng tia* của phương trình chuyển động. Câu đố 393 s Bạn có thể tìm ra một thí dụ về sự áp dụng của nó không?



HÌNH 171 Sự biến mất của lực hấp dẫn bên trong một vỏ cầu vật chất.



HÌNH 172 Minh hoạ riêng của Le Sage về mô hình của ông, cho thấy mật độ của 'các hạt siêu thế giới' giữa hai vật hút nhau thì lớn hơn mật độ của hạt ở phía bên ngoài của chúng (© Wikimedia)

* *

Nhìn từ Hải vương tinh, kích thước của Mặt trời giống như của Mộc tinh khi nhìn từ Trái đất vào lúc gần nhất. Có đúng như vậy không? Câu đố 394 s

* *

Xem 171 Gia tốc hấp dẫn đối với một hạt trong vỏ cầu bằng 0. Sự biến mất lực hấp dẫn trong trường hợp này độc lập với hình dạng, vị trí của hạt và bề dày của vỏ cầu. Bạn có thể lý luận dựa trên Hình 171 không? Câu đố 395 s Điều này xảy ra vì sự phụ thuộc $1/r^2$ của lực hấp dẫn. Bạn có thể chứng tỏ rằng kết quả này không đúng đối với vỏ không hình cầu không? Hãy nhớ rằng điều này thường không đúng nếu có vật chất bên ngoài vỏ cầu. Làm thế nào để người ta có thể khử được tác dụng của vật chất bên ngoài? Câu đố 396 s

* *

Lực hấp dẫn là gì? Câu hỏi đơn giản này có một lịch sử khá dài. Vào năm 1690, Nicolas

Xem 172 Fatio de Duillier và vào năm 1747, Georges-Louis Le Sage đã đưa ra cách giải thích cho sự phụ thuộc $1/r^2$. Le Sage lý luận rằng thế giới có đầy các hạt nhỏ – mà ông gọi là 'các hạt siêu thế giới' – bay hỗn loạn và va chạm với mọi vật. Một vật đơn lẻ sẽ không thấy sự va chạm vì chúng chạm liên tục và khắp mọi phía. Nhưng khi 2 vật gần nhau, chúng tạo ra bóng cho phần thông lượng tới vật kia, kết quả sinh ra lực hút như ta thấy trong Hình 172. Bạn có thể chứng tỏ rằng một lực hút như vậy thì phụ thuộc theo kiểu $1/r^2$ không? Câu đố 397 e

Tuy vậy giả thuyết của Le Sage có nhiều vấn đề. Trước tiên, lý luận này chỉ đúng nếu va chạm không đàn hồi. (Tại sao?) Câu đố 398 e Tuy vậy, điều đó có nghĩa là các vật sẽ nóng lên theo thời gian, như Jean-Marc Lévy-Leblond đã giải thích. Xem 2 Thứ hai, một vật chuyển động trong không gian tự do sẽ va chạm với các hạt ở phía trước nhanh hơn và nhiều hơn các hạt phía sau; kết quả là các vật sẽ giảm tốc. Sau cùng, lực hấp dẫn sẽ phụ thuộc kích thước nhưng theo một cách kỳ lạ. Đặc biệt, 3 vật nằm trên 1 đường thẳng sẽ *không* tạo ra bóng, vì ta không thấy các bóng như vậy; nhưng mô hình ngây thơ này lại tiên đoán là có.

Dù bị phê bình nhiều nhưng kể từ lúc đó, ý tưởng lực hấp dẫn bắt nguồn từ các hạt đã được cải tiến một cách đều đặn trong lĩnh vực nghiên cứu vật lý. Trong phiên bản gần đây nhất, các hạt theo giả thuyết được gọi là *graviton*. Mặt khác, người ta không bao giờ quan sát được các hạt như vậy. Ta sẽ tìm hiểu nguồn gốc của lực hấp dẫn trong phần cuối của cuộc hành trình lên đỉnh.

* *

Câu đố 399 ny Đối với vật nào thì lực hấp dẫn giảm khi bạn tới gần chúng?

* *

Ta có thể đưa một vệ tinh vào quỹ đạo bằng súng đại bác hay không? Câu trả lời có phụ thuộc vào hướng bắn hay không? Câu đố 400 s

* *

Hai người dùng máy tính cũ chia sẻ kinh nghiệm. 'Tôi ném máy Pentium III và Pentium IV ra ngoài cửa sổ.' 'Rồi sao?' 'Máy Pentium III nhanh hơn.'

* *

Câu đố 401 s Đứng ở Mặt trăng ta có thấy Trái đất mọc và lặn không? Trái đất có trải qua các phase không?

* *

Câu đố 402 ny Khối lượng của Mặt trăng là bao nhiêu? So với khối lượng của dãy Alps thì như thế nào?

* *

Nếu một ngôi sao làm bằng vật liệu có mật độ cao thì tốc độ của một hành tinh ở gần nó có thể lớn hơn tốc độ của ánh sáng. Thiên nhiên đã tránh khả năng kỳ dị này như thế nào? Câu đố 403 s

* *

Điều gì sẽ xảy ra cho Thái dương hệ trong tương lai? Câu hỏi này khó trả lời kinh khủng.

BẢNG 27 Một tính chất không giải thích được của thiên nhiên: khoảng cách các hành tinh đến Mặt trời và giá trị suy ra từ quy tắc Titius–Bode.

Hành tinh	n	tiên đoán (khoảng cách, AU)	đo được (khoảng cách, AU)
Thuỷ tinh	$-\infty$	0.4	0.4
Kim tinh	0	0.7	0.7
Trái đất	1	1.0	1.0
Hoả tinh	2	1.6	1.5
Tiểu hành tinh	3	2.8	2.2 tới 3.2
Mộc tinh	4	5.2	5.2
Thổ tinh	5	10.0	9.5
Thiên vương tinh	6	19.6	19.2
Hải vương tinh	7	38.8	30.1
Tử vương tinh	8	77.2	39.5

Chuyên gia chính của chủ đề này, nhà khoa học về hành tinh, người Pháp Jacques Laskar, Xem 173 đã mô phỏng vài trăm triệu năm tiến hoá bằng cách sử dụng máy điện toán. Ông nhận thấy rằng quỹ đạo các hành tinh ổn định nhưng có bằng chứng rõ ràng về sự hỗn độn Trang 423 trong sự tiến hoá của Thái dương hệ, ở mức độ nhỏ. Các hành tinh ảnh hưởng tới nhau theo những cách phức tạp và khó hiểu. Những hiệu ứng trong quá khứ cũng đã được nghiên cứu, như sự thay đổi năng lượng của Mộc tinh bắt nguồn từ sự bắn ra các tiểu hành tinh nhỏ hơn hay năng lượng kiếm được từ Hải vương tinh. Vẫn còn nhiều nghiên cứu trong lĩnh vực này.

* *

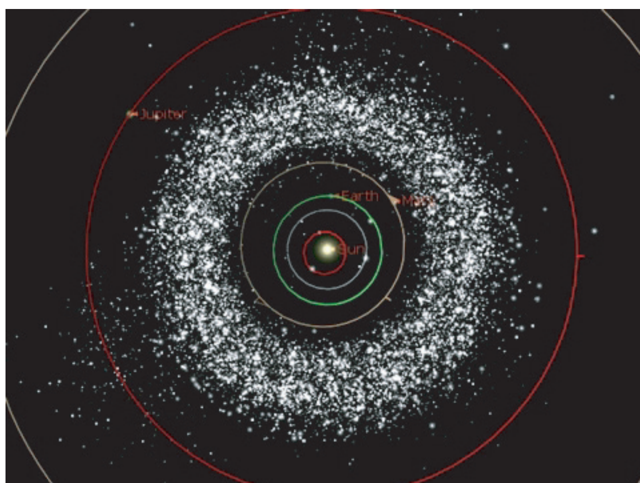
Một trong những vấn đề mở của Thái dương hệ là sự mô tả về khoảng cách của các hành tinh được Johann Daniel Titius (1729–1796) khám phá năm 1766 và được Johann Elert Bode (1747–1826) công bố. Titius khám phá ra rằng khoảng cách các hành tinh d tới Mặt trời gần đúng bằng

$$d = a + 2^n b \quad \text{với} \quad a = 0.4\,\text{AU}\,,\ b = 0.3\,\text{AU} \tag{61}$$

trong đó khoảng cách được đo bằng đơn vị thiên văn và n là con số của hành tinh. Kết quả gần đúng được so sánh với số liệu quan sát trong Bảng 27.

Điều thú vị là 3 hành tinh sau cùng cũng như các tiểu hành tinh được khám phá *sau khi* Bode và Titius qua đời; quy tắc đã tiên đoán đúng khoảng cách của Thiên vương tinh cũng như các tiểu hành tinh. Dù thành công – và thất bại ở 2 hành tinh cuối – chưa có ai tìm được một mô hình cho sự thành lập các hành tinh giải thích được quy tắc Titius. Các vệ tinh lớn của Mộc tinh và Thiên vương tinh đều có khoảng cách đều đặn nhưng không theo quy tắc Titius–Bode.

Việc giải thích hay phản bác quy tắc này là một trong những thách thức vẫn còn tồn



HÌNH 173 Chuyển động của các tiểu hành tinh so với các hành tinh (Shockwave animation © Hans-Christian Greier)

BẢNG 28 Chu kỳ trên quỹ đạo theo hiểu biết của người Babylon.

Thiên thể	Chu kỳ
Thổ tinh	29 a
Mộc tinh	12 a
Hoả tinh	687 d
Mặt trời	365 d
Kim tinh	224 d
Thuỷ tinh	88 d
Mặt trăng	29 d

Xem 174 tại trong Cơ học cổ điển. Một số các nhà nghiên cứu thì cho rằng quy tắc là hệ quả của Xem 175 sự bất biến tỷ lệ, một số khác cho rằng đó là một sự tình cờ hay vô bổ. Ý kiến sau cùng xuất phát từ việc các hành tinh ngoài Thái dương hệ không tuân theo quy tắc này. Vấn đề vẫn chưa kết thúc.

* *

Cách nay khoảng 3000 năm, người Babylon đã đo được thời gian chuyển động trên quỹ đạo của 7 thiên thể chuyển động ngang qua bầu trời. Họ viết tên chúng theo thứ tự từ dài nhất đến ngắn nhất trong Bảng 28. Ta thấy được 6 thiên thể trong Hình 174 đẹp mắt.

Người Babylon cũng giới thiệu tuần lễ và phân chia 1 ngày thành 24 giờ. Họ dành một phần thời gian 168 giờ của 1 tuần cho 1 thiên thể, theo thứ tự trong Bảng 28. Họ cũng dành nguyên 1 ngày cho thiên thể tương ứng với giờ đầu tiên của ngày đó. Ngày đầu tiên trong tuần được dành cho Thổ tinh; thứ tự hiện nay của các ngày khác thì theo Bảng 28.
Xem 176 Câu chuyện này do Cassius Dio (*c.* 160 tới *c.* 230) kể lại. Đến cuối thời cổ đại, đế quốc La



HÌNH 174 Đây là 6 thiên thể thấy được bằng mắt trần vào ban đêm và có vị trí thay đổi suốt năm. Đường gần như thẳng đứng nối chúng là Hoàng đạo, dải hẹp bao quanh nó là Hoàng đới. Cùng với Mặt trời chúng được sử dụng để đặt tên cho ngày trong tuần. (© Alex Cherney)




HÌNH 175 Nhật thực ngày 11/08/1999, do Jean-Pierre Haigneré, phi hành gia trên Mir 27 chụp và nhật thực (đã được làm cho nổi bật) ngày 29/03/2006 (© CNES and Laurent Laveder/PixHeaven.net).

Mã chỉnh lại thứ tự. Trong tiếng Đức, kể cả tiếng Anh, tên Latin của các thiên thể được thay bằng các vị thần của Đức tương ứng. Thứ tự Saturday, Sunday, Monday, Tuesday, Wednesday, Thursday và Friday là hệ quả của các phép đo thiên văn lẫn sự mê tín trong khoa chiêm tinh của người cổ đại.

* *

Năm 1722, toán gia vĩ đại Leonhard Euler đã phạm phải một sai lầm trong tính toán khiến cho ông kết luận rằng nếu một đường hầm, hay tốt hơn, một hố sâu được xây từ một cực này đến cực khác của Trái đất, một viên đá rơi vào nó sẽ đến tâm Trái đất và lập tức quay lên. Voltaire đã giễu cợt kết luận này trong nhiều năm. Bạn có thể sửa sai và chứng tỏ rằng chuyển động thực là một dao động giữa 2 cực và tính thời gian rơi từ
Câu đố 405 s cực này qua cực kia (giả sử mật độ không đổi) không?

Thời gian dao động từ mặt này sang mặt kia đối với một đường hầm thẳng bất kỳ
Câu đố 406 s chiều dài l, *không* đi từ cực này sang cực kia là bao nhiêu?

Câu đố trước đã tránh né các hiệu ứng do chuyển động quay của Trái đất. Chủ đề
Xem 177 này sẽ thú vị hơn nhiều nếu ta tính đến chuyển động quay. Hình dạng của đường hầm
Câu đố 407 s sẽ như thế nào để cho một viên đá rơi xuyên qua nó mà không chạm vào tường?

* *

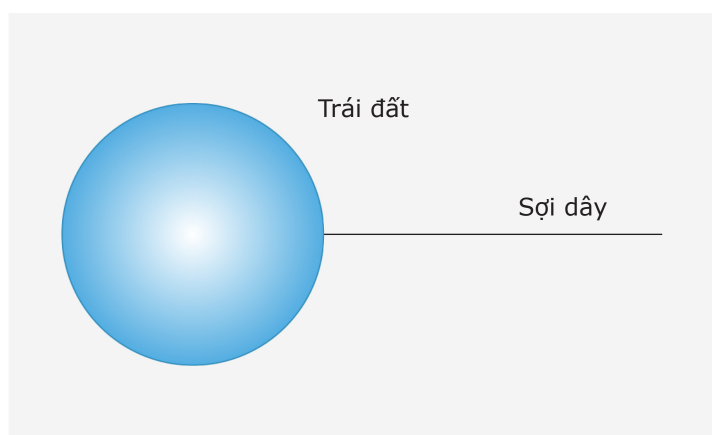
Hình 175 cho thấy hình ảnh nhật thực chụp từ trạm không gian của Nga *Mir* và một hình chụp từ tâm bóng đen trên Trái đất. Thật ra một cái nhìn toàn cục của hiện tượng
Câu đố 408 s có thể khác hoàn toàn với cái nhìn tại địa phương. Tốc độ của cái bóng là bao nhiêu?

* *

Năm 2005, các phép đo từ vệ tinh đã chứng tỏ rằng nước sông Amazon trong mùa nước
Xem 178 lớn đã ép xuống đất nhiều hơn 75 mm so với lúc mà nó cạn.

* *

Hãy tưởng tượng có những sợi dây không đứt gãy. Một sợi dây như vậy phải dài bao nhiêu để khi ta cột vào Xích đạo, nó sẽ đứng thẳng trong không khí như trong Hình 176?



HÌNH 176 Một sợi dây cột vào Xích đạo Trái đất.

Câu đố 409 s Người ta có thể xây dựng một thang máy trong không gian bằng cách này hay không?

* *

Thường thường có 2 đợt thuỷ triều mỗi ngày. Nhưng có nhiều nơi, như ở bờ biển Việt Nam, chỉ có một đợt thuỷ triều mỗi ngày. Hãy xem www.jason.oceanobs.com/html/applications/marees/marees_m2k1_fr.html. Tại sao? Câu đố 410 ny

* *

Sử dụng khái niệm lực ly tâm cũng đủ để chứng tỏ rằng các vành Thổ tinh không thể được cấu tạo từ các khối vật liệu mà phải từ các mảnh riêng biệt. Bạn có thể tìm ra cách hình thành của nó không? Câu đố 411 s

* *

Tại sao Hoả tinh mất khí quyển của nó? Không ai biết. Gần đây, người ta đã chứng tỏ rằng gió Mặt trời quá yếu nên không thể gây ra điều này. Đây là một trong nhiều điều bí ẩn chưa được giải đáp của Thái dương hệ.

* *

Mọi vật trong Thái dương hệ đều quay quanh Mặt trời theo cùng một hướng. Tất cả? Không; có ngoại lệ. Một tiểu hành tinh kỳ lạ gần Mộc tinh, quay quanh Mặt trời theo hướng ngược lại, đã được khám phá năm 2015: nó có kích thước 3 km. Để xem một film hoạt hình về quỹ đạo kỳ lạ của nó, đối nghịch với mọi tiểu hành tinh Trojan, hãy ghé trang www.astro.uwo.ca/~wiegert.

* *

Chuyển động bắt nguồn từ lực hấp dẫn mà ta quan sát được có thể là *đơn giản nhất* theo ý nghĩa sau đây. Nếu ta đo sự thay đổi của vật rơi bằng biểu thức $\int mv^2/2 - mgh\, dt$, thì một gia tốc không đổi do lực hấp dẫn sẽ *cực tiểu hoá* độ biến đổi trong mọi trường hợp rơi. Bạn có thể chứng minh điều này không? Trang 253 Câu đố 412 e

* *

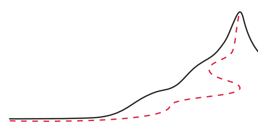
Chuyển động do trọng lực khá thú vị: hãy nghĩ về trò chơi xe điện nhào lộn. Nếu bạn muốn biết thêm về cách xây dựng chúng, hãy ghé trang www.vekoma.com.

> Lý thuyết khoa học mà tôi thích nhất là các vành của Thổ tinh được làm bằng hành lý trên phi cơ bị thất lạc.
>
> Mark Russel

Tóm tắt về lực hấp dẫn

Các vật hình cầu khối lượng M hút các vật khác cách nó một khoảng r bằng cách sinh ra một gia tốc hướng về phía các vật đó với độ lớn $a = GM/r^2$. Biểu thức này, *lực hấp dẫn vạn vật*, mô tả người trượt tuyết bằng ván và bằng ski, người chơi dù lượn, vận động viên điền kinh, kẻ ù lì, con lắc, hòn đá, súng đại bác, hoả tiễn, hiện tượng triều, thiên thực, hình dạng hành tinh, chuyển động của hành tinh và nhiều hơn nữa. Lực hấp dẫn vạn vật là thí dụ đầu tiên về sự mô tả thống nhất: nó mô tả *cách mọi vật rơi*. Bằng gia tốc do nó sinh ra, lực hấp dẫn giới hạn sự xuất hiện của chuyển động đều trong thiên nhiên.





Chương 7

Cơ học cổ điển, lực và tính tiên đoán được của chuyển động

Tất cả các loại chuyển động cùng với tính chất thường gặp nhất là khối lượng của vật tạo thành môn *Cơ học*. Tên này cũng dành cho các chuyên gia nghiên cứu nó. Ta có thể xem Cơ học là phần điển kinh của Vật lý.** Trong điển kinh lẫn Cơ học chỉ có chiều dài, thời gian và khối lượng được quan tâm.

Nói cho rõ ràng hơn, chủ đề nghiên cứu của chúng ta cho tới bây giờ được gọi là Cơ học *cổ điển*, để phân biệt với Cơ học *lượng tử*. Sự khác nhau chính là trong Vật lý cổ điển người ta giả sử có các giá trị nhỏ tuỳ ý trong khi điều đó không đúng trong Cơ học lượng tử. Cơ học cổ điển thường được gọi là *Vật lý Galilei* hay *Vật lý Newton*.***

Cơ học cổ điển cho rằng chuyển động *có thể tiên đoán được*: tức là không có sự ngạc nhiên trong chuyển động. Điều này có luôn luôn đúng không? Tính tiên đoán được có đúng khi có ma sát không? khi có ý chí tự do? Có thật là không có ngạc nhiên trong thiên nhiên không? Những vấn đề này đáng được tranh luận; chúng sẽ đồng hành với ta trong một thời gian dài của cuộc thám hiểm.

Ta biết rằng còn có nhiều điều cần tìm hiểu hơn trọng lực. Những quan sát đơn giản đã chứng tỏ điều này: *sàn nhà* và *ma sát*. Không có cái nào bắt nguồn từ trọng lực. Sàn nhà không rơi xuống nên không thể mô tả bằng trọng lực; ta không thấy ma sát trong bầu trời, nơi chuyển động chỉ bắt nguồn từ lực hấp dẫn.**** Trên Trái đất ma sát cũng
Câu đố 413 e
không có liên hệ với trọng lực và bạn có thể tự kiểm tra điều này. Phải có sự tương tác gây ra ma sát. Ta sẽ nghiên cứu nó trong quyển 3. Nhưng một vài vấn đề mới đáng được bàn luận ở đây.

** Điều này khác với nguồn gốc thực của thuật ngữ 'Cơ học', có nghĩa là 'khoa học về máy móc'. Nó dẫn xuất từ tiếng Hy Lạp μηκανή, có nghĩa là 'máy móc' và nó cũng là gốc của từ tiếng Anh 'machine'. Đôi khi thuật ngữ 'Cơ học' được sử dụng cho việc nghiên cứu chuyển động của *vật rắn*, trừ ra, thí dụ như Thuỷ động lực học. Cách sử dụng này không được chấp nhận trong Vật lý của thế kỷ 18.

*** Nền tảng của Cơ học cổ điển, sự mô tả chuyển động mà chỉ sử dụng không gian và thời gian được gọi là *Động học*. Một thí dụ là sự mô tả sự rơi tự do bằng phương trình $z(t) = z_0 + v_0(t - t_0) - \frac{1}{2}g(t - t_0)^2$. Một phần chính khác của Cơ học cổ điển là mô tả chuyển động như một hệ quả của sự tương tác giữa các vật; nó được gọi là *Động lực học*. Một thí dụ của Động lực học là công thức của lực hấp dẫn vạn vật. Sự phân biệt giữa Động học và Động lực học cũng có thể thực hiện trong Thuyết tương đối, Nhiệt động lực học và Điện động lực học.

**** Điều này không đúng hoàn toàn: vào thập niên 1980, lần đầu tiên người ta đã khám phá ra ma sát hấp dẫn: sự phát xạ sóng hấp dẫn. Ta sẽ bàn kỹ về nó trong chương Thuyết tương đối tổng quát. Tuy nhiên
Quyển II, trang 179
khám phá này không làm thay đổi quan điểm chính.



HÌNH 177 Hình dạng parabol do các tia nước được gia tốc tạo thành chứng tỏ rằng chuyển động trong đời sống thông thường có thể tiên đoán được (© Oase GmbH).

BẢNG 29 Một số giá trị lực trong thiên nhiên.

Trường hợp đo	Lực
Giá trị đo được trong kính hiển vi lực cộng hưởng từ	820 zN
Lực cần để cắt rời phân tử DNA bằng cách kéo hai đầu của nó	600 pN
Lực cắn cực đại của người	2.1 kN
Lực cực đại của búa tạ	2 kN
Lực của cơ bốn đầu	lên tới 3 kN
Lực giữ của 1 cm^2 băng keo tốt	lên tới 10 kN
Lực cần để làm đứt một dây thừng tốt sử dụng trong việc leo núi	30 kN
Lực cực đại đo được trong thiên nhiên	$3.0 \cdot 10^{43}$ N

Ta có nên sử dụng lực hay công suất hay không?

> Việc sử dụng trực tiếp sức lực là một giải pháp hết sức nghèo nàn [...] thường được trẻ em và các nước lớn sử dụng.
>
> David Friedman

Mọi người đều phải có lập trường về vấn đề này, ngay cả các học sinh học Vật lý. Thật vậy, có nhiều loại lực được sử dụng và ta đã thấy chúng trong đời sống hằng ngày. Người ta nói về lực của cơ bắp, lực hấp dẫn, lực tâm linh, hấp dẫn giới tính, cám dỗ của ma quỷ, lực siêu nhiên, ảnh hưởng của xã hội, chính trị, kinh tế và nhiều điều khác. Các nhà vật lý nhìn sự vật đơn giản hơn. Họ gọi các loại lực khác nhau này là *sự tương tác* giữa các vật. Nghiên cứu kỹ tất cả các tương tác này sẽ cho ta thấy rằng, trong đời sống hằng ngày, chúng có nguồn gốc điện từ và hấp dẫn.

Đối với vật lý gia, mọi thay đổi đều bắt nguồn từ chuyển động. Lúc đó thuật ngữ lực cũng có một định nghĩa hạn chế hơn. *Lực (vật lý)* được định nghĩa là *độ biến thiên của động lượng theo thời gian*, tức là

$$F = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{p}}{\mathrm{d}t} . \qquad (62)$$

Một số giá trị lực được liệt kê trong Hình 29.

Xem 86
Câu đố 414 s
Một con ngựa chạy nhanh đến nỗi móng của nó chỉ chạm đất 20 % thời gian. Tải mà chân nó phải chịu trong thời gian tiếp xúc là bao nhiêu?

Lực là *độ biến thiên* của động lượng. Vì động lượng bảo toàn nên ta cũng có thể nói rằng lực đo *dòng* động lượng. Như ta sẽ thấy sau đây, khi lực gia tốc một vật, động lượng chảy vào vật. Thật vậy, ta có thể tưởng tượng động lượng là một chất vô hình không sờ thấy được. Lực đo lượng chất này chảy vào hay ra khỏi vật trong một đơn vị thời gian.
Xem 86

▷ Lực là dòng động lượng.

Sự bảo toàn động lượng bắt nguồn từ sự bảo toàn của chất lỏng này. Giống như một chất lỏng bất kỳ, động lượng chảy xuyên qua một mặt.

Sử dụng định nghĩa Galilei của động lượng $\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v}$, ta có thể viết lại định nghĩa của lực (đối với khối lượng không đổi) là

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} , \qquad (63)$$

trong đó $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}(t, \boldsymbol{x})$ là lực tác dụng lên một vật khối lượng m và trong đó $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}(t, \boldsymbol{x}) = \mathrm{d}\boldsymbol{v}/\mathrm{d}t = \mathrm{d}^2\boldsymbol{x}/\mathrm{d}t^2$ là gia tốc của vật, tức độ biến thiên vận tốc.* Biểu thức này khi phát biểu chính xác: Lực là độ biến thiên *vận tốc* của vật. Nó được gọi là 'lực' vì nó tương ứng về nhiều mặt, nhưng *không phải* tất cả, với lực cơ bắp thông thường. Thí dụ như dùng lực càng mạnh thì hòn đá được ném đi càng xa. Nói một cách tương đương, càng bơm nhiều động lượng vào hòn đá thì nó đi càng xa. Một trường hợp khác, khái niệm *trọng lượng* mô tả dòng động lượng do trọng lực.

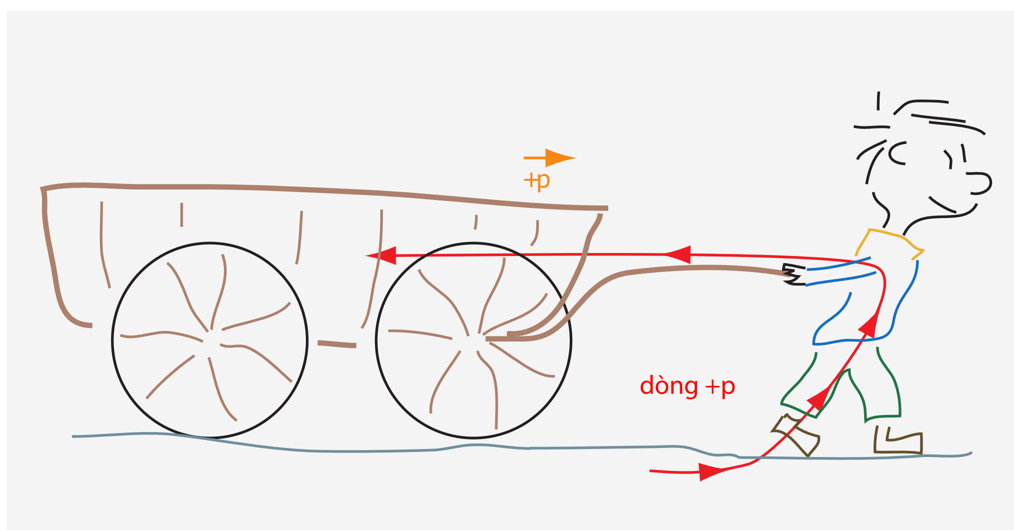
▷ Lực hấp dẫn bơm động lượng vào các vật có khối lượng.

Cát trong một đồng hồ cát đang rơi và đồng hồ cát được đặt trên một cái cân. Số chỉ trên cân lớn hơn, nhỏ hơn hay bằng khối lượng đồng hồ khi cát ngừng rơi?
Câu đố 415 s

Lực được đo nhờ sự biến dạng của các vật. Giá trị các lực thông thường có thể đo bằng cách đo độ giãn của lò xo. Giá trị lực nhỏ hay vào cỡ 1 nN, có thể được phát hiện bằng cách đo độ lệch của các chùm laser.

Tuy vậy, khi ta sử dụng khái niệm lực thì cũng nên nhớ rằng *lực vật lý khác với lực hay các nỗ lực thông thường*. Nỗ lực có lẽ gần giống với *công suất (vật lý)*, thường viết tắt

* Phương trình này do toán gia và vật lý gia Leonhard Euler (b. 1707 Basel, d. 1783 St. Petersburg) viết ra đầu tiên năm 1747, 20 năm sau khi Newton, người mà người ta thường sai lầm cho là tác giả, qua đời. Euler, một trong những toán gia vĩ đại của mọi thời (chứ không phải là Newton), người đầu tiên hiểu rằng định nghĩa này của lực sẽ hữu dụng trong *mọi trường hợp* chuyển động, bất kể là chất điểm hay vật có kích thước đáng kể, rắn hay lỏng, biến dạng được hay không. Điều đáng ngạc nhiên và khác với các phát biểu thông thường, phương trình (63) đúng cả trong Thuyết tương đối.
Xem 28
Quyển II, trang 86



HÌNH 178 Cậu bé kéo xe bơm động lượng vào xe. Đúng ra, một ít động lượng chảy trở lại đất do ma sát động (không được vẽ ra ở đây).

là P, và được định nghĩa (đối với lực không đổi) là

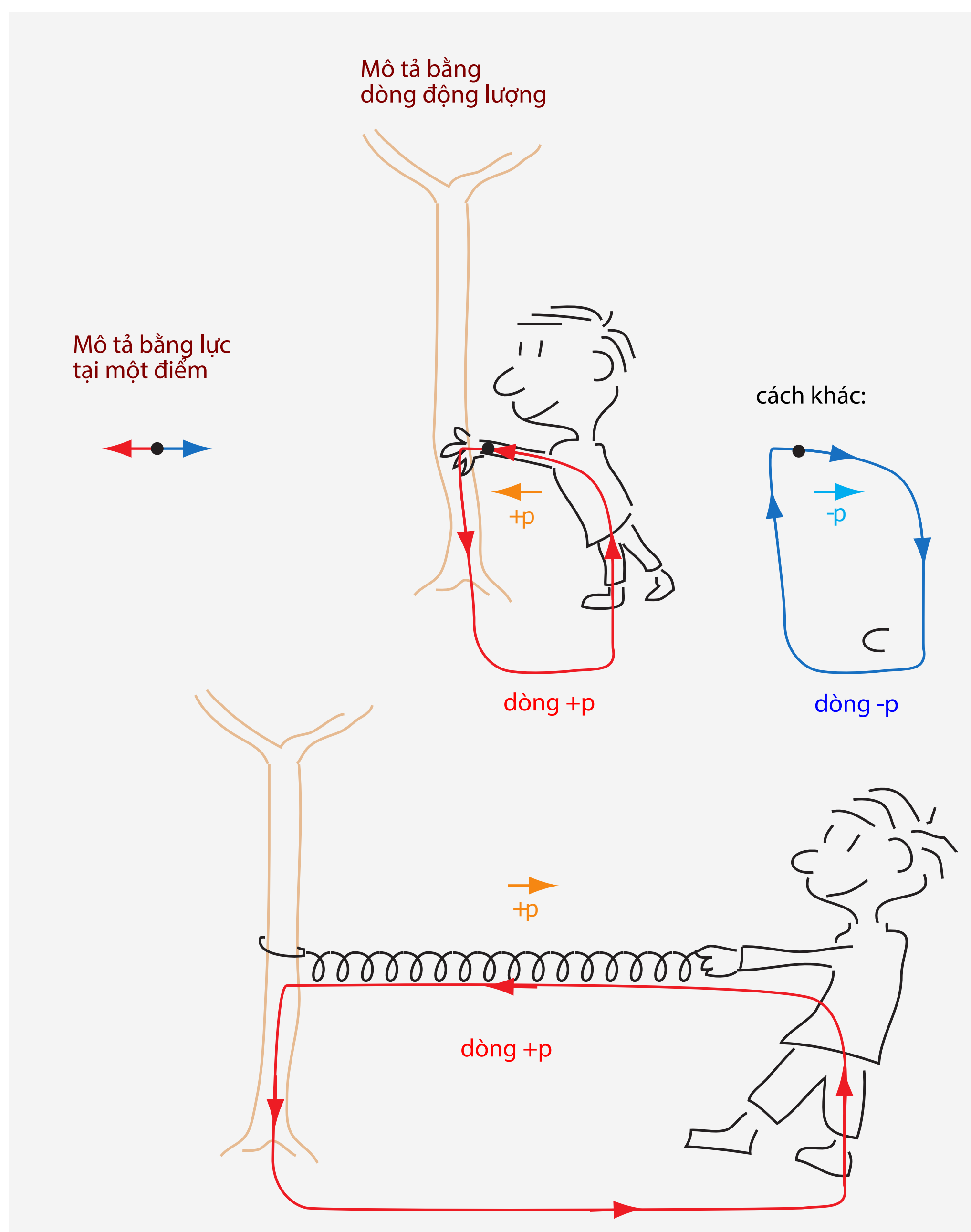
$$P = \frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{F}\boldsymbol{v} \tag{64}$$

trong đó *công (vật lý)* W được định nghĩa là $W = \boldsymbol{F}\boldsymbol{s}$, với $\boldsymbol{s}$ là khoảng cách mà lực tác dụng dọc theo đó. Công vật lý là một dạng của năng lượng như bạn đã biết. Ta phải tính đến công khi muốn kiểm tra sự bảo toàn năng lượng.

Với định nghĩa công vừa cho bạn có thể giải được nhiều câu đố. Sự tiêu thụ điện của
Câu đố 416 s một thang cuốn sẽ như thế nào nếu bạn đi lên thay vì đứng yên? Tác dụng của định
Câu đố 417 d nghĩa công suất đối với lương của khoa học gia là gì? Một người đi bộ mang theo một
Câu đố 418 s túi xách nặng đang chật vật làm việc; tại sao lúc đó anh ta lại cảm thấy mệt?

Khi học sinh trong các kỳ thi nói rằng lực tác dụng lên một hòn đá được ném đi thì
Xem 179 nhỏ nhất ở điểm cao nhất của quỹ đạo, người ta thường nói rằng họ đang dùng một quan niệm không đúng, cụ thể là *quan niệm Aristote* cho rằng lực tỷ lệ với vận tốc. Đôi khi ta nói rằng họ đang dùng một khái niệm khác về *trạng thái* chuyển động. Các nhà phê bình còn cao giọng thêm vào là mấy điều này sai quá cỡ. Đây là một thí dụ về thông tin sai lạc kiểu trí thức. Mỗi học sinh đều có kinh nghiệm từ việc đi xe đạp, ném đá hay kéo một vật là khi vận tốc tăng thì *nỗ lực* cũng phải nhiều. Học sinh này đúng; các lý thuyết gia cho rằng học sinh có quan niệm lầm lẫn về *lực* là sai. Đúng ra, thay vì khái niệm về lực *vật lý*, học sinh chỉ sử dụng phiên bản *thông thường* cụ thể là nỗ lực. Thật vậy, nỗ lực của trọng lực trên một hòn đá đang bay ở điểm cao nhất của quỹ đạo là ít nhất. Việc tìm hiểu sự khác nhau giữa lực vật lý và nỗ lực thông thường là trở ngại chính trong việc học Cơ học.*

* Bậc đá này cao đến nỗi nhiều vật lý gia chuyên nghiệp cũng không vượt qua được; điều này được khẳng định, qua vô số các dẫn giải trong các bài báo, cho rằng lực vật lý được định nghĩa bằng cách dùng khối lượng đồng thời khối lượng được định nghĩa bằng lực (phần sau này là một sai lầm cơ bản).



HÌNH 179 Hai sự mô tả tương đương của trạng thái có tổng lực bằng 0, tức là dòng động lượng khép kín. Biến dạng nén xảy ra khi dòng động lượng và động lượng cùng hướng; biến dạng giãn khi chúng ngược hướng.

Thường thì người ta không nhận ra dòng động lượng, phương trình (62), là định nghĩa của lực. Điều này chủ yếu bắt nguồn từ quan sát thông thường: hình như có những lực không có gia tốc liên kết với nó hay sự thay đổi về động lượng, như trong một sợi

dây căng hay trong nước có áp suất cao. Khi ta đẩy vào một cái cây như trong Hình 179, không có chuyển động tuy có lực tác dụng. Nếu lực là dòng động lượng thì động lượng đi đâu? Nó chảy vào các biến dạng nhỏ của tay và cây. Đúng ra khi ta bắt đầu đẩy và biến dạng, độ biến thiên động lượng của các phân tử, nguyên tử hay điện tử của 2 vật có thể quan sát được. Sau khi sự biến dạng đã được thiết lập một dòng động lượng liên tục và không đổi sẽ đi theo cả 2 hướng.

Xem 86
Vì lực là chỉ là dòng động lượng nên khái niệm này thực ra không cần trong việc mô tả chuyển động. Nhưng đôi khi khái niệm này cũng hữu dụng. Đây là trường hợp trong cuộc sống hằng ngày khi giá trị động lượng nhỏ hay bỏ qua được. Thí dụ, nó hữu dụng trong việc định nghĩa áp suất là lực trên một đơn vị diện tích, mặc dù có dòng động lượng chảy qua mặt đó. Ở mức độ vi mô, chỉ một mình động lượng là đủ mô tả chuyển động.

Trong tiêu đề của chương ta đã hỏi về tính hữu dụng của lực và công suất. Trước khi có câu trả lời chắc chắn, ta cần bàn luận thêm. Thông qua định nghĩa, khái niệm lực và công suất được phân biệt rõ ràng với 'khối lượng', 'động lượng', 'năng lượng' và với nhau. Nhưng lực bắt nguồn từ đâu? Nói cách khác, tác dụng nào trong thiên nhiên có khả năng gia tốc các vật bằng cách bơm động lượng vào chúng? Bảng 30 cho ta một tổng quan về điều này.

Lực, mặt và sự bảo toàn

Ta đã biết lực là độ biến thiên động lượng. Ta cũng đã thấy động lượng được bảo toàn. Các phát biểu này đến với nhau như thế nào? Câu trả lời cũng giống như các đại lượng bảo toàn khác. Ta tưởng tượng một mặt đóng là ranh giới của một thể tích trong không gian. Sự bảo toàn khiến cho đại lượng được bảo toàn được bao *bên trong* mặt này chỉ có thể thay đổi bằng cách *chảy xuyên qua* mặt đó.*

Mọi đại lượng bảo toàn trong thiên nhiên – như năng lượng, động lượng, điện tích, moment động lượng – chỉ có thể thay đổi bằng cách chảy xuyên qua các mặt. Đặc biệt, khi động lượng của một vật thay đổi, nó xảy ra thông qua một mặt. Sự thay đổi động lượng bắt nguồn từ dòng động lượng. Nói cách khác, khái niệm lực luôn luôn hàm ý có một mặt mà động lượng chảy qua nó.

▷ Lực là dòng động lượng xuyên qua một mặt.

Xem 298
Đây là điểm cốt yếu trong việc tìm hiểu lực vật lý. Mọi lực đều cần một mặt để định nghĩa nó.

* Về mặt toán học, sự bảo toàn của đại lượng q được phát biểu nhờ sự giúp đỡ của mật độ khối $\rho = q/V$, cường độ dòng $I = q/t$ và dòng hay thông lượng $\boldsymbol{j} = \rho\boldsymbol{v}$, sao cho $j = q/At$. Sự bảo toàn hàm ý rằng

$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = \int_V \frac{\partial\rho}{\partial t}\mathrm{d}V = -\int_{A=\partial V} \boldsymbol{j}\mathrm{d}\boldsymbol{A} = -I \qquad (65)$$

hay

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla\boldsymbol{j} = 0\,. \qquad (66)$$

Đây là *phương trình liên tục* đối với đại lượng q. Tất cả những điều này chỉ phát biểu rằng một đại lượng bảo toàn trong một mặt đóng V chỉ có thể thay đổi bằng cách chảy xuyên qua mặt A. Đây là một thí dụ điển hình về việc các biểu thức toán học phức tạp có thể làm lu mờ một nội dung vật lý đơn giản.



HÌNH 180 Các quá trình dựa trên ma sát (courtesy Wikimedia).

Để hiểu sâu hơn về khái niệm lực, bạn có thể tìm các mặt có liên quan khi một sợi
Câu đố 419 e dây kéo một cái xe, khi cánh tay đẩy vào thân cây, hay khi một cái xe tăng tốc. Việc so sánh định nghĩa lực và định nghĩa công suất cũng có ích: cả hai đại lượng này đều chảy xuyên qua các mặt. Kết quả là ta có thể nói:

▷ *Động cơ* là một máy bơm động lượng.

Ma sát và chuyển động

Mỗi thí dụ về chuyển động, từ chuyển động để ta chọn hướng nhìn tới chuyển động mang cánh bướm lướt qua một phong cảnh, đều có thể đặt vào một trong hai cột bên trái của Bảng 30. Về mặt vật lý, hai cột đó được tách ra theo các tiêu chuẩn sau: trong lớp đầu tiên, gia tốc của vật có thể khác hướng với vận tốc. Lớp thứ hai chỉ tạo ra gia tốc *trực đối* với vận tốc của vật, khi nhìn từ hệ quy chiếu của môi trường giảm tốc. Lực cản như vậy được gọi là *ma sát*, *lực cản* hay *sự tắt dần*. Mọi thí dụ trong lớp 2 là các loại ma
Câu đố 420 e sát. Chỉ cần kiểm tra. Một số quá trình dựa trên ma sát được cho trong Hình 180.

Đây là một câu đố về môn xe đạp: gió tạt ngang có làm giảm tốc độ không – và tại
Câu đố 421 s sao như vậy?

Ma sát có thể mạnh đến nỗi mọi chuyển động của vật đều không thể chống lại môi

BẢNG 30 Các quá trình và thiết bị làm thay đổi chuyển động của vật.

Các trường hợp có thể làm cho vật tăng tốc	Các trường hợp chỉ làm cho vật giảm tốc	Động cơ và bộ dẫn động
hiện tượng áp điện		
thạch anh chịu tác dụng của điện áp	nhiệt phát quang	bộ dẫn động 3 chân áp điện bước
va chạm		
vệ tinh chạm trán hành tinh	đụng xe	động cơ hoả tiễn
sự phát triển của các ngọn núi	thiên thạch rơi	sự bơi của ấu trùng
các hiệu ứng từ		
kim la bàn gần nam châm	thắng điện từ	súng điện từ
hiện tượng từ giảo	sự hao hụt trong biến thế	động cơ tuyến tính
dòng điện gần nam châm	bếp điện	điện kế
các hiệu ứng điện		
lược đã chải để gần tóc	ma sát giữa các vật rắn	động cơ tĩnh điện
bom	lửa	cơ bắp, tiên mao của tinh trùng
ống tia âm cực	kinh hiển vi điện tử	động cơ Brown
ánh sáng		
nâng vật bằng ánh sáng	nguồn sáng làm ngừng các nguyên tử	động cơ ánh sáng (thực)
buồm mặt trời dành cho vệ tinh	áp suất ánh sáng trong ngôi sao	pin quang điện
tính đàn hồi		
cung tên	dây đeo quần	động cơ siêu âm
cây uốn cong đứng thẳng trở lại	gối, túi khí	lớp kép
hiện tượng thẩm thấu		
nước đi lên trong cây	bảo quản thực phẩm bằng muối	con lắc thẩm thấu
điện thẩm thấu		hiển thị X quang điều hưởng được
nhiệt & áp suất		
làm lạnh champagne	lực cản ván trượt nước	động cơ thuỷ lực
ấm trà	cát lún	động cơ hơi nước
áp kế	nhảy dù	súng hơi, buồm
động đất	ma sát trượt	địa chấn kế
lực hút của xe lửa đi qua	giảm chấn	turbine hơi nước
hạt nhân		
hiện tượng phóng xạ	bay vào Mặt trời	sự bùng nổ của siêu tân tinh
sinh học		
sự tăng trưởng của tre	sự giảm đường kính của mạch máu	động cơ phân tử
lực hấp dẫn		
sự rơi	sự phát xạ sóng hấp dẫn	ròng rọc

HÌNH 181 Hình dạng và sức cản không khí/nước.

trường. Loại ma sát này, được gọi là *ma sát nghỉ* hay *ma sát dính*, rất hay gặp và quan trọng: không có nó, việc bẻ lái xe đạp, xe lửa và xe hơi đều không có tác dụng. Không có ma sát nghỉ, bánh xe hơi sẽ không bám mặt đường. Tương tự như vậy, ta không thể xiết chặt một đinh ốc và kẹp tóc sẽ vô dụng. Ta không thể chạy cũng như đi trong rừng, vì đất sẽ trơn hơn mặt băng bóng láng. Đúng ra không chỉ chuyển động của chúng ta mà mọi *chuyển động chủ động* của sinh vật *đều dựa trên ma sát*. Tương tự là trường hợp chuyển động của các máy móc tự hành. Không có ma sát nghỉ, chân vịt tàu thuỷ, cánh quạt phi cơ và máy bay trực thăng sẽ vô dụng, cánh của phi cơ sẽ không tạo ra được lực
Câu đố 422 s nâng để giữ cho phi cơ ở trong không khí. (Tại sao?)

Tóm lại, ma sát tĩnh rất cần thiết khi chúng ta hay máy móc muốn chuyển động trong một môi trường.

Ma sát, thể thao, máy móc và tính tiên đoán được

Khi một vật chuyển động xuyên qua môi trường, nó bị một lực ma sát cản trở; lực đó được gọi là *ma sát động* và là tác dụng giữa các vật chuyển động tương đối với nhau.* Không có ma sát động, các vật rơi sẽ luôn luôn nảy lên đến độ cao cũ, ta sẽ không chiên
Xem 180 được bánh; không có nhảy dù và thắng cũng vô dụng; và tệ nhất là ta sẽ không có ký ức như ta sẽ thấy sau này.

Mọi thí dụ về chuyển động trong cột 2 của Bảng 30 đều bao gồm ma sát. Trong những thí dụ này, năng lượng vĩ mô không bảo toàn: đây là các hệ *tiêu tán*. Trong cột đầu, năng lượng vĩ mô không đổi: đây là các hệ *bảo toàn*.

Ta cũng có thể phân biệt 2 cột đầu tiên bằng cách sử dụng một tiêu chuẩn toán học trừu tượng hơn: bên trái là gia tốc có thể dẫn xuất từ một thế, bên phải thì không. Giống như trường hợp lực hấp dẫn, sự mô tả một chuyển động bất kỳ sẽ được đơn giản hoá bằng cách sử dụng một hàm thế: ở mỗi vị trí trong không gian ta chỉ cần một giá trị của

* Có thể có một ngoại lệ. Nghiên cứu gần đây cho thấy rằng có lẽ trong các hệ tinh thể nào đó, như các thể tungsten trên silic, dưới điều kiện lý tưởng thì ma sát trượt có thể rất nhỏ và biến mất theo một hướng nào
Xem 181 đó. Điều này được gọi là *siêu bôi trơn*, một chủ đề nghiên cứu hiện nay.

thế để tính toán quỹ đạo của vật thay vì 3 giá trị của gia tốc hay lực. Hơn nữa, độ lớn của vận tốc của vật ở một điểm bất kỳ có thể tính trực tiếp từ sự bảo toàn năng lượng.

Các quá trình từ cột thứ 2 *không thể* mô tả bằng thế. Đây là những trường hợp mà tốt hơn hết là sử dụng lực để mô tả chuyển động của hệ. Thí dụ như ma sát hay lực cản F do *gió* tác dụng lên vật *gần bằng*

$$F = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2 \qquad (67)$$

trong đó A là diện tích của thiết diện ngang, v là vận tốc tương đối đối với không khí, ρ là mật độ không khí. *Hệ số cản* c_w là một số phụ thuộc hình dạng của vật chuyển động. Một vài thí dụ được cho trong Hình 181. Công thức này đúng cho mọi lưu chất, chứ không dành riêng cho không khí, tốc độ nhỏ hơn tốc độ âm, miễn là lực cản bắt nguồn từ hiện tượng chảy rối. Đây thường là trường hợp của không khí và nước. (Ở vận tốc rất nhỏ, Trang 360 khi chuyển động của lưu chất không phải là chảy rối mà chảy thành lớp, lực cản được gọi là *lực cản nhớt* và tuân theo mối liên hệ (gần như) tuyến tính với tốc độ.) Bạn có thể Câu đố 423 e kiểm tra là lực cản khí động lực *không thể* dẫn xuất từ một thế. *

Hệ số cản c_w là một đại lượng đo được. Việc tính hệ số này bằng máy tính, với hình dạng và các tính chất của lưu chất đã cho, là một công việc khó nhất trong khoa học; bài toán này vẫn chưa giải được. Một chiếc xe khí động lực có giá trị này từ 0.25 đến 0.3; nhiều xe thể thao có cùng giá trị với xe bán tải từ 0.44 trở lên, và của xe đua có thể bằng 1, tuỳ theo lực cần dùng để giữ chặt xe trên mặt đất. Giá trị nhỏ nhất mà ta đã biết là của cá heo và chim cánh cụt.**

Xem 183 Sức cản của gió cũng quan trọng đối với con người, đặc biệt trong điền kinh. Người ta ước tính rằng người chạy 100 m mất từ 3 % đến 6 % công suất để vượt qua lực cản. Điều này dẫn tới sự thay đổi thời gian chạy t_w khi tính đến tốc độ gió w, được tính theo biểu thức

$$\frac{t_0}{t_w} = 1.03 - 0.03 \left(1 - \frac{w t_w}{100\,\text{m}}\right)^2 , \qquad (68)$$

trong đó, ước tính dè dặt cũng có hơn 3 % được sử dụng. Tốc độ gió ngược −2 m/s sẽ làm thời gian tăng thêm 0.13 s, đủ để thay đổi một kỷ lục thế giới tiềm năng thành một kết quả tuyệt hảo ‘có một không hai’. (Bạn có thể suy ra c_w đối với người chạy từ công Câu đố 425 ny thức này không?)

Tương tự, môn nhảy dù có được cũng là nhờ lực cản của gió. Bạn có thể xác định tốc độ của vật rơi, giả sử hình dạng và hệ số cản *không đổi*, có/không có dù, thay đổi theo Câu đố 426 s thời gian ra sao hay không?

---

* Phát biểu về ma sát đó chỉ đúng trong trường hợp 3 chiều, như trong thiên nhiên; trong trường hợp chỉ Câu đố 424 s có 1 chiều, ta *luôn luôn* có hàm thế.

** Người ta chưa rõ là trong thiên nhiên, lực cản có giá trị khả hữu nhỏ nhất hay không.

Chủ đề hình dạng khí động học cũng khá thú vị đối với lưu thể. Chúng được kết nối với nhau nhờ *lực căng mặt ngoài*. Thí dụ như lực căng mặt ngoài giữ cho tóc ướt dính với nhau. Nó cũng xác định hình dạng của những giọt mưa. Thí nghiệm chứng tỏ rằng hình dạng của chúng là hình cầu nếu đường kính nhỏ hơn 2 mm và hình *thấu kính* với phần phẳng hướng xuống dưới nếu đường kính lớn hơn. Hình dạng giọt nước Quyển V, Trang 308 mắt thông thường *không có* trong thiên nhiên; nó chỉ gần giống với giọt tách ra nhưng *không bao giờ* giống giọt đang rơi.

Trái lại, ma sát tĩnh có các tính chất khác. Nó tỷ lệ với lực ép 2 vật vào nhau. Tại sao? Xem 184 Nghiên cứu kỹ hơn, ta thấy lực dính tỷ lệ với diện tích tiếp xúc thực sự. Hoá ra việc đặt 2 vật rắn tiếp xúc nhau khá giống với việc lật ngược Thuỵ Sĩ rồi đặt lên Áo; diện tích tiếp xúc nhỏ hơn diện tích ước tính vĩ mô khá nhiều. Điểm quan trọng ở đây là diện tích tiếp xúc thực tỷ lệ với lực *pháp tuyến* tức là thành phần lực vuông góc với mặt tiếp xúc. Việc nghiên cứu những điều xảy ra trong diện tích tiếp xúc vẫn còn tiếp diễn; các nhà nghiên cứu đang xem xét việc sử dụng các công cụ như kính hiển vi lực nguyên tử, kính hiển vi lực ngang và ma sát nghiệm. Kết quả của những nỗ lực này là các đĩa cứng trong máy tính sẽ bền hơn, vì ma sát giữa đĩa và đầu đọc là đại lượng chủ yếu quyết định tuổi thọ của đĩa.

Mọi dạng ma sát đều đi liền với sự gia tăng nhiệt độ của vật chuyển động. Lý do trở nên rõ ràng hơn sau khi người ta khám phá ra các nguyên tử. Ma sát không xảy ra trong các hệ ít (2, 3, 4...) hạt. Ma sát chỉ xuất hiện trong các hệ *nhiều* hạt, thường là hàng triệu hay nhiều hơn. Những hệ như vậy được gọi là *hệ tiêu tán*. Cả độ biến thiên nhiệt độ lẫn ma sát đều bắt nguồn từ chuyển động của một số lớn các hạt vi mô va chạm với nhau. Trong mô tả Galilei không có chuyển động này. Khi bao gồm cả chuyển động đó, ma sát và sự mất mát năng lượng không còn, và khi đó ta có thể sử dụng các hàm thế. Gia tốc dương – có độ lớn vi mô – lúc đó cũng xuất hiện và chuyển động được bảo toàn.

Tóm lại, mọi chuyển động đều bảo toàn trên thang đo vi mô. Trên thang đo này ta có thể và thực tế nhất là mô tả *mọi* chuyển động mà không sử dụng khái niệm lực. *

Ý nghĩa của câu chuyện này có 2 phần: Đầu tiên, ta chỉ nên sử dụng lực và công suất trong một trường hợp: có ma sát và chỉ khi người ta không muốn đi sâu vào chi tiết.** Thứ hai, ma sát không cản trở sự tiên đoán. Chuyển động vẫn còn tiên đoán được.

> Et qu'avons-nous besoin de ce moteur, quand l'étude réfléchie de la nature nous prouve que le mouvement perpétuel est la première de ses lois ?***
>
> Donatien de Sade *Justine, ou les malheurs de la vertu.*

Các trạng thái đầy đủ – các điều kiện ban đầu

> Quid sit futurum cras, fuge quaerere ...****
>
> Horace, *Odi*, lib. I, ode 9, v. 13.

* Khoa học gia đầu tiên khử lực khỏi sự mô tả thiên nhiên là Heinrich Rudolf Hertz (b. 1857 Hamburg, d. 1894 Bonn), người khám phá sóng điện từ nổi tiếng, trong sách Cơ học của ông, *Die Prinzipien der Mechanik*, Barth, 1894, republished by Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1963. Vào thời đó ý tưởng của ông bị phê bình mạnh mẽ; chỉ một thế hệ sau đó, khi Cơ học lượng tử êm ái gỡ bỏ vĩnh viễn khái niệm này, ý tưởng đó mới được công nhận. (Nhiều người đã nghiên cứu về vai trò của Hertz đã có trong sự phát triển của Cơ học lượng tử và Thuyết tương đối tổng quát trong trường hợp ông không mất sớm.) Trong sách của mình, Hertz cũng đã thiết lập nguyên lý đường thẳng nhất: hạt đi theo các đường trắc địa. Sự mô tả này cũng là một trong những trụ cột của Thuyết tương đối tổng quát, như ta sẽ thấy sau này.

** Nhưng chi phí sẽ cao; trong trường hợp quan hệ giữa con người, sự đánh giá sẽ có phần sâu sắc hơn, Xem 185 như sự nghiên cứu về bạo lực đã cho thấy.

*** 'Và ta cần gì ở cái động cơ này, khi các nghiên cứu hợp lý về thiên nhiên chứng tỏ rằng chuyển động vĩnh cửu là một trong những định luật đầu tiên của nó?'

Xem 84 **** 'Đừng bao giờ hỏi ngày mai sẽ ra sao ...' Quintus Horatius Flaccus (65–8 BCE), thi sĩ La Mã vĩ đại.

Chúng ta hãy tiếp tục tìm hiểu về tính tiên đoán được của chuyển động. Chúng ta thường mô tả chuyển động của một vật bằng cách xác định vị trí của nó theo thời gian, thí dụ như

$$\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{x}_0 + \boldsymbol{v}_0(t - t_0) + \tfrac{1}{2}\boldsymbol{a}_0(t - t_0)^2 + \tfrac{1}{6}\boldsymbol{j}_0(t - t_0)^3 + \ldots \,. \qquad (69)$$

Những đại lượng có chỉ số 0, như vị trí ban đầu $\boldsymbol{x}_0$, vận tốc ban đầu $\boldsymbol{v}_0$, v.v..., được gọi là các *điều kiện ban đầu*. Những điều kiện này cần cho việc mô tả chuyển động. Các hệ vật lý khác nhau có điều kiện ban đầu khác nhau. Như vậy điều kiện ban đầu xác định *tính cá thể* của hệ đã cho. Điều kiện ban đầu cũng cho ta khả năng phân biệt tình trạng hiện tại của hệ với tình trạng trước đó: chúng xác định *các mặt thay đổi* của một hệ thống. Nói cách khác, chúng tóm tắt *quá khứ* của một hệ.

Trang 27 Như vậy điều kiện ban đầu đúng là những tính chất mà ta đang tìm kiếm để mô tả *trạng thái* của một hệ. Để tìm được sự mô tả đầy đủ các trạng thái ta chỉ cần mô tả đầy đủ các điều kiện ban đầu, mà ta cũng có thể gọi là *các trạng thái ban đầu*. Hoá ra đối với lực hấp dẫn cũng như các tương tác vi mô khác, ta *không cần* gia tốc ban đầu $\boldsymbol{a}_0$, độ biến thiên gia tốc ban đầu $\boldsymbol{j}_0$, hay các đại lượng ban đầu bậc cao hơn. Trong thiên nhiên, gia tốc và độ biến thiên gia tốc chỉ phụ thuộc vào tính chất của vật và môi trường; chúng không phụ thuộc vào quá khứ. Biểu thức $a = GM/r^2$ của lực hấp dẫn vạn vật, cho ta gia tốc của một vật nhỏ ở gần một vật lớn, không phụ thuộc quá khứ mà chỉ phụ thuộc môi trường. Điều tương tự cũng xảy ra cho các tương tác cơ bản khác, như ta sẽ thấy sau đây.

Trang 87 *Trạng thái đầy đủ* của một chất điểm chuyển động được mô tả bằng cách xác định vị trí và động lượng của nó ở mọi thời điểm. Như vậy lúc này ta đã đạt được một mô tả *đầy đủ các tính chất nội tại* của chất điểm, cụ thể là khối lượng và *các trạng thái chuyển động* của chúng, cụ thể là động lượng, năng lượng, vị trí và thời gian. Đối với các vật *vật rắn linh hoạt* ta cũng cần sự định hướng và moment động lượng. Đây là danh sách đầy đủ đối với vật rắn; ta không cần các biến động lực trạng thái nào khác.

Bạn có thể xác định các biến động lực trạng thái cần thiết trong các trường hợp vật
Câu đố 427 s đàn hồi và lưu chất hay không? Bạn có thể cho một thí dụ về tính chất nội tại mà tới giờ
Câu đố 428 s ta đã bỏ qua hay không?

Tập hợp các trạng thái khả hữu của một hệ có cái tên đặc biệt: *không gian phase*. Ta sẽ thường xuyên sử dụng khái niệm này. Giống như các không gian khác, nó có nhiều
Câu đố 429 s chiều. Bạn có thể xác định con số này đối với một hệ chứa N hạt không?

Cũng là một điều thú vị để ta nhắc lại một câu đố đã cũ: vũ trụ có điều kiện ban đầu
Câu đố 430 s không? Nó có không gian phase không?

Giả sử ta đã có mô tả của tính chất lẫn trạng thái đối với chất điểm, các vật linh hoạt và biến dạng được, thì ta có thể tiên đoán mọi chuyển động chưa? Vẫn chưa. Có nhiều trường hợp trong thiên nhiên, chuyển động của một vật phụ thuộc vào các đặc trưng khác hơn khối lượng; chuyển động có thể phụ thuộc vào màu sắc (bạn có thể tìm ra thí
Câu đố 431 s dụ không?), nhiệt độ và các tính chất khác mà ta sẽ khám phá ra sau. Đối với mỗi tính chất nội tại lại có các biến động lực để khám phá. Mỗi tính chất nội tại bổ sung là nền tảng của một lĩnh vực vật lý. Tốc độ là nền tảng của Cơ học, nhiệt độ là nền tảng của Nhiệt động lực học, điện tích là nền tảng của Điện động lực học, v.v... Do đó ta phải kết luận rằng cho đến bây giờ ta vẫn chưa có một mô tả đầy đủ về chuyển động.

> “Người lạc quan là người nghĩ rằng tương lai không có gì chắc chắn.”
> Vô danh

Có sự ngạc nhiên không? Tương lai có xác định không?

> “Die Ereignisse der Zukunft *können* wir nicht aus den gegenwärtigen erschließen. Der Glaube an den Kausalnexus ist ein Aberglaube.*”
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 5.1361

> “Tự do là sự nhận thức được tính tất yếu.”
> Friedrich Engels (1820–1895)

Nếu sau khi leo lên cây rồi nhảy xuống, ta không thể ngừng chuyển động nhảy giữa chừng; một khi việc nhảy đã bắt đầu ta không thể ngừng lại được, giống như mọi chuyển động thụ động. Tuy vậy, khi ta bắt đầu cử động cánh tay, ta có thể ngừng lại hay đổi một cú đấm thành một cái vuốt ve. Chuyển động tự nguyện hình như có thể ngừng và xác Câu đố 432 e định trước được. Trường hợp nào là trường hợp tổng quát?

Chúng ta hãy bắt đầu với thí dụ mà ta có thể mô tả chính xác nhất từ trước tới giờ: chuyển động rơi của một vật. Một khi thế hấp dẫn φ tác dụng lên một hạt được cho và được tính đến, ta có thể sử dụng biểu thức

$$\boldsymbol{a}(x) = -\nabla\varphi = -GM\boldsymbol{r}/r^3 \ , \tag{70}$$

và ta có thể sử dụng trạng thái tại thời điểm đã cho và các điều kiện ban đầu như

$$\boldsymbol{x}(t_0) \quad \text{and} \quad \boldsymbol{v}(t_0) \ , \tag{71}$$

để xác định trước chuyển động của hạt. Thật vậy, với 2 thông tin này, ta có thể tính được quỹ đạo đầy đủ $\boldsymbol{x}(t)$.

Một phương trình có chứa hàm thế để tiên đoán quá trình diễn biến các sự kiện được gọi là *phương trình tiến hoá*. Phương trình (70), là một phương trình tiến hoá mô tả sự rơi của một vật. (Nên nhớ rằng thuật ngữ ‘tiến hoá’ trong Vật lý và trong Sinh học có ý nghĩa khác nhau.) Một phương trình tiến hoá bao gồm sự quan sát không phải tất cả mọi loại thay đổi trong thiên nhiên mà chỉ một vài trường hợp đặc biệt. Không phải ta quan sát được mọi hệ quả có thể tưởng tượng được của các biến cố mà chỉ một số hữu hạn của chúng mà thôi. Đặc biệt, phương trình (70) bao gồm ý tưởng cho rằng từ một thời điểm này sang thời điểm kế tiếp, vật rơi thay đổi chuyển động dựa trên thế hấp dẫn tác dụng lên chúng.

Phương trình tiến hoá không chỉ hiện hữu trong chuyển động do lực hấp dẫn mà còn hiện hữu trong chuyển động bắt nguồn từ mọi lực trong thiên nhiên. Với phương trình tiến hoá và trạng thái ban đầu cho trước, toàn bộ chuyển động của hệ được *ấn định một cách duy nhất*, một tính chất thường được gọi là *tính tất định*. Thí dụ như các thiên văn gia có thể tính trước vị trí của các hành tinh với độ chính xác cao trong hàng ngàn năm.

* ‘Ta không thể đoán được các sự kiện trong tương lai từ những điều trong hiện tại. Niềm tin vào mối quan hệ nhân quả là một sự mê tín.’ Tuy vậy, cuộc thám hiểm của chúng ta sẽ khẳng định qua các quan sát thông thường rằng phát biểu này sai.

Chúng ta hãy phân biệt cẩn thận tính tất định với nhiều khái niệm tương tự để tránh hiểu lầm. Chuyển động có thể tất định đồng thời lại *không thể tiên đoán được trong thực tế*. Tính không tiên đoán được của chuyển động có thể có 4 lý do:

Quyển V, trang 46

1. Một số lớn không đoán được của các hạt có liên quan bao gồm trường hợp có ma sát,
2. thông tin không đầy đủ về các điều kiện ban đầu và
3. sự phức tạp về mặt toán học của phương trình tiến hoá,
4. hình dạng kỳ lạ của không-thời gian.

Thí dụ như trong trường hợp *thời tiết* ba điều đầu tiên được thoả mãn cùng lúc. Thật khó để tiên đoán được thời tiết trên các chu kỳ dài hơn 1 hay 2 tuần. (Năm 1942, Hitler một lần nữa lại làm một điều điên rồ trên nước Đức bằng cách yêu cầu tiên đoán thời tiết chính xác trong 12 tháng sau đó.) Mặc dù khó tiên đoán, sự thay đổi thời tiết vẫn còn tất định. Một thí dụ khác, gần *các hố đen* ta có cả 4 lý do trên. Ta sẽ bàn đến hố đen trong phần Thuyết tương đối tổng quát. Mặc dù không thể tiên đoán được, chuyển động gần hố đen vẫn có tính tất định.

Chuyển động có thể vừa tất định đồng thời có tính *ngẫu nhiên* theo thời gian, tức là có các kết quả khác nhau trong các thí nghiệm tương tự. Chuyển động của bi roulette là tất định nhưng cũng có tính ngẫu nhiên. * Như ta sẽ thấy sau này, các hệ lượng tử rơi vào phạm trù này, cũng như tất cả các thí dụ về chuyển động không thuận nghịch, chẳng hạn một giọt mực loang ra trong nước sạch. Việc ném xúc xắc vừa có tính tất định vừa có tính ngẫu nhiên. Đúng ra, các nghiên cứu về cách tiên đoán kết quả của việc ném xúc xắc với sự giúp đỡ của máy tính điện tử đã có nhiều tiến bộ vượt bậc; các nghiên cứu này cũng cho thấy cách ném xúc xắc để gia tăng độ khác thường nhằm kiếm được kết quả mong muốn. Trong các trường hợp như vậy tính ngẫu nhiên và tính không thể lặp lại chỉ là biểu kiến; chúng biến mất khi ta bao gồm sự mô tả các trạng thái và điều kiện ban đầu trong lĩnh vực vi mô. Tóm lại, tính tất định không mâu thuẫn với *tính bất thuận nghịch (vĩ mô)*. Tuy vậy, ở thang đo vi mô, chuyển động tất định luôn luôn khả nghịch.

Trang 128
Quyển IV, trang 158
Xem 187

Một khái niệm sau cùng được phân biệt với tính tất định là *tính phi nhân quả*. Tính nhân quả là yêu cầu một nguyên nhân phải đi trước hậu quả. Điều này là bình thường trong Vật lý Galilei, nhưng trở nên quan trọng trong Thuyết tương đối đặc biệt, nơi tính nhân quả hàm ý rằng tốc độ ánh sáng là một giới hạn cho sự lan truyền tác dụng. Thật vậy, hình như không thể có chuyển động tất định (của vật chất và năng lượng) *phi nhân quả*, nói cách khác là nhanh hơn ánh sáng. Bạn có thể chứng minh điều này không? Chủ đề này sẽ được nghiên cứu sâu hơn trong phần Thuyết tương đối đặc biệt.

Câu đố 433 s

Việc nói rằng chuyển động có 'tính tất định' đồng nghĩa với việc nó được cố định trong tương lai *cũng như trong quá khứ*. Đôi khi người ta cũng nói rằng những điều tiên đoán được trong các thí nghiệm *trong tương lai* là phép thử quyết định đối với một mô tả thiên nhiên thành công. Do khả năng ảnh hưởng tới tương lai đầy ấn tượng của chúng ta, điều này không nhất thiết phải là một phép thử tốt. Một lý thuyết bất kỳ trước tiên phải mô tả đúng các quan sát trong *quá khứ*. Việc chúng ta không có tự do để thay đổi

* Các toán gia đã phát triển nhiều phép thử để xác định xem một tập hợp các số có *tính ngẫu nhiên* hay không; các kết quả roulette vượt qua các phép thử này – tuy nhiên chỉ trong các sòng bạc trung thực. Những phép thử như vậy kiểm tra một cách tiêu biểu sự phân bố như nhau của các số, các cặp số, bộ 3 số, v.v... Các phép thử khác là phép thử χ^2, phép thử Monte Carlo và phép thử khỉ đột.

Xem 186

quá khứ và kết quả là ta không có sự lựa chọn trong việc mô tả thiên nhiên là điều cốt yếu trong Vật lý. Trong trường hợp này, thuật ngữ 'điều kiện ban đầu' là một lựa chọn không thích hợp vì đúng ra, các điều kiện ban đầu tóm tắt *quá khứ* của một hệ.* Phần chủ yếu của một mô tả tất định là mọi chuyển động đều có thể quy giản thành một phương trình tiến hoá cộng với một trạng thái đặc biệt. Trạng thái này có thể là một trạng thái ban đầu, trung gian hay sau cùng. Chuyển động tất định được xác định một cách duy nhất trong quá khứ và tương lai.

Để kiếm được một khái niệm rõ ràng về tính tất định, việc nhắc nhở chúng ta lý do tại sao khái niệm 'thời gian' được đưa vào trong sự mô tả thế giới của chúng ta cũng là một điều hữu ích. Ta đưa thời gian vào vì trước tiên ta thấy rằng ta có thể xác định các hệ quả của các thí nghiệm, thứ hai, không thể có các thay đổi không giới hạn. Điều này khác với film, nơi người ta có thể đi qua một cánh cửa và bước vào một lục địa hay một thế kỷ khác. Trong thiên nhiên ta không thể thấy các sự biến hình, như người biến thành lò nướng bánh hay chó biến thành bàn chải đánh răng. Ta chỉ có thể đưa ra khái niệm 'thời gian' vì các thay đổi liên tiếp mà ta quan sát được bị hạn chế hết mức. Nếu thiên
Câu đố 434 s
nhiên không thể tái tạo được, ta không thể sử dụng thời gian. Tóm lại, tính tất định quy định rằng quan sát là *các thay đổi liên tiếp bị giới hạn vào một khả năng duy nhất*.

Vì tính tất định có liên hệ với việc sử dụng khái niệm thời gian, các câu hỏi mới sẽ nảy sinh khi khái niệm này thay đổi, như đã xảy ra trong Thuyết tương đối đặc biệt, trong Thuyết tương đối tổng quát và trong Vật lý lý thuyết năng lượng cao. Còn nhiều điều thú vị ở phía trước.

Tóm lại, mỗi mô tả thiên nhiên có sử dụng khái niệm thời gian, như trong cuộc sống hằng ngày, trong Vật lý cổ điển và trong Cơ học lượng tử, đều có tính tất định trong bản chất và một cách chắc chắn, vì nó kết nối các quan sát trong quá khứ với tương lai, là hai khả năng *loại trừ nhau*. Tóm lại,

▷ Việc sử dụng thời gian bao hàm tính tất định và ngược lại.

Khi rút ra các kết luận siêu hình, là một điều mà ngày nay rất phổ biến khi bàn về Thuyết
Quyển V, trang 46
lượng tử, ta không nên quên điều này. Người sử dụng đồng hồ nhưng không chấp nhận tính tất định là người đang bị chứng tâm thần phân lập!** Tương lai là tất định.

Ý chí tự do

> "Bạn có khả năng làm cho chính mình ngạc nhiên."
> Richard Bandler and John Grinder

Ý tưởng chuyển động có tính tất định thường tạo ra sự sợ hãi vì ta đã được giáo dục là tất định gắn liền với thiếu tự do. Mặt khác, ta đã trải nghiệm tự do trong các hành động của mình và gọi nó là *ý chí tự do*. Ta biết rằng nó cần thiết cho sự sáng tạo và hạnh phúc. Do đó hình như tất định đối nghịch với hạnh phúc.

* Vấn đề với thuật ngữ 'điều kiện ban đầu' trở nên rõ ràng khi gần với big bang: khi big bang, vũ trụ không có quá khứ nhưng ta thường nói rằng nó có những điều kiện ban đầu. Sự mâu thuẫn này sẽ được tìm hiểu sau trong cuộc thám hiểm của chúng ta.

** Mặc dù điều đó chẳng vui chút nào.

Nhưng chính xác thì ý chí tự do là gì? Người ta đã tốn nhiều giấy mực để tìm ra định nghĩa chính xác. Ta có thể định nghĩa ý chí tự do là sự tuỳ tiện trong việc lựa chọn các điều kiện ban đầu. Tuy vậy, điều kiện ban đầu phải là kết quả của phương trình tiến hoá nên thực sự không có tự do trong việc lựa chọn. Ta cũng có thể định nghĩa ý chí tự do từ ý tưởng không tiên đoán được hay những tính chất tương tự như tính không tính toán được. Nhưng các định nghĩa này cùng đối diện với một vấn đề đơn giản: dù định nghĩa như thế nào đi nữa thì cũng *không có cách nào* để chứng minh bằng thực nghiệm rằng một hành động được thực hiện một cách tự do. Các định nghĩa khả hữu vô dụng. Tóm lại, vì ta không thể định nghĩa ý chí tự do nên ta *không thể* quan sát được nó. (Các nhà tâm lý học cũng có nhiều dữ liệu bổ sung để ủng hộ cho kết luận này nhưng đó là một chủ đề khác.)

Không có quá trình nào xảy ra *từ từ* – khác với các quá trình *đột ngột* – có thể bắt nguồn từ ý chí tự do; những quá trình chậm cũng được mô tả bằng thời gian và có tính tất định. Trong trường hợp này, câu hỏi về ý chí tự do trở thành câu hỏi về sự hiện hữu của sự thay đổi đột ngột trong tự nhiên. Đây là chủ đề thường gặp trong trong phần còn lại của cuộc du hành. Thiên nhiên có thể làm chúng ta ngạc nhiên không? Trong đời sống hằng ngày thì không. Ta không thấy sự thay đổi đột ngột. Dĩ nhiên là ta vẫn còn phải nghiên cứu câu hỏi này trong các lĩnh vực khác, thế giới vô cùng nhỏ và vô cùng lớn. Thật vậy, ta sẽ đổi ý nhiều lần trong cuộc hành trình nhưng kết luận thì vẫn như vậy.

Ta cũng cần chú ý rằng việc thiếu ngạc nhiên trong đời sống thông thường đã ăn sâu vào bản chất của chúng ta: sự tiến hoá đã phát triển sự tò mò vì mọi điều mà ta khám phá thì sau này đều có ích. Nếu thiên nhiên không ngớt làm ta ngạc nhiên, sự tò mò trở nên vô nghĩa.

Nhiều quan sát mâu thuẫn với sự ngạc nhiên: lúc khởi đầu cuộc hành trình ta đã định nghĩa thời gian dựa trên sự liên tục của chuyển động; sau đó ta đã diễn đạt điều này bằng cách nói rằng thời gian là một chuỗi bảo toàn năng lượng. Sự bảo toàn đối nghịch với sự ngạc nhiên. Nhân tiện, ta còn một câu đố: bạn có thể chứng tỏ rằng ta không thể định
Câu đố 435 s nghĩa được thời gian mặc dù sự ngạc nhiên *rất hiếm khi* xảy ra?

Tóm lại, cho tới giờ ta không có bằng chứng rằng có sự ngạc nhiên trong thiên nhiên. Thời gian hiện hữu vì thiên nhiên tất định. Ta không thể định nghĩa ý chí tự do với độ chính xác mà Vật lý đòi hỏi. Nếu cho rằng không có sự thay đổi đột ngột thì chỉ có một kết luận phù hợp: ý chí tự do là một *cảm giác*, đặc biệt độc lập với cảm giác khác, độc lập với sự sợ hãi và độc lập với sự chấp nhận hậu quả của hành động của ta.* Ý chí tự do
Xem 188 là một cái tên kỳ lạ dành cho cảm giác thoả mãn. Điều này giải toả được một nghịch lý biểu kiến; ý chí tự do, là một cảm giác, hiện hữu như một kinh nghiệm của con người, mặc dù mọi vật chuyển động không có khả năng lựa chọn. Không có sự mâu thuẫn.
Xem 189 Dù hành động của con người có tính tất định, nó vẫn còn đáng tin. Như vậy tại sao

* Ý chí tự do đó cũng là một cảm giác được khẳng định nhờ sự nội quan rốt ráo. Thật vậy, ý tưởng về ý chí tự do luôn luôn nảy sinh *sau khi* một hành động đã bắt đầu. Ngồi trong một môi trường tĩnh lặng, không hạn định thời gian, rồi làm một động tác nhỏ có chủ ý như nắm bàn tay lại, cũng là một cuộc thử nghiệm
Câu đố 436 e hay. Nếu bạn quan sát cẩn thận, kỹ lưỡng, những điều xảy ra trong nội tâm trong lúc quyết định, bạn sẽ nhận thấy, hoặc là một cơ chế dẫn tới quyết định đó, hoặc là một đám sương mù tản mạn. Bạn không bao giờ tìm thấy ý chí tự do. Một thí nghiệm như vậy sẽ là một cách tốt đẹp để trải nghiệm sâu xa những điều kỳ diệu của tự ngã. Những kinh nghiệm như vậy cũng có thể là một trong những nguồn gốc của tâm linh, vì chúng cho thấy sự kết nối giữa con người và phần còn lại của thiên nhiên.

tính tất định lại làm ta khiếp sợ? Đó là câu hỏi mà mọi người phải tự hỏi. Tính tất định đã làm thay đổi cuộc đời, hành động, sự lựa chọn, trách nhiệm và sự hỉ lạc của bạn như thế nào? Câu đố 437 e * Nếu bạn kết luận rằng tất định khác với tự do, bạn sẽ làm thay đổi cuộc đời của mình! Sợ hãi sự tất định thường bắt nguồn từ việc không chịu nhìn nhận thế giới theo cách của nó. Theo kiểu ngược đời, ta có thể nói một cách chính xác rằng, người cứ tin vào sự hiện hữu của ý chí tự do là người trốn tránh trách nhiệm.

Tóm tắt về tính tiên đoán được

Mặc dù khó tiên đoán được các trường hợp đặc biệt, mọi chuyển động mà ta gặp cho tới giờ đều tất định và tiên đoán được. Ngay cả ma sát cũng tiên đoán được về mặt nguyên tắc, nếu ta tính đến các chi tiết vi mô của vật chất.

Tóm lại, Cơ học cổ điển cho rằng tương lai là xác định. Đúng ra ta sẽ khám phá ra rằng *mọi* chuyển động trong thiên nhiên, ngay cả trong Thuyết lượng tử và Thuyết tương đối tổng quát, đều tiên đoán được.

Chuyển động tiên đoán được. Đây không phải là một kết quả đáng kinh ngạc. Nếu chuyển động không tiên đoán được, ta đã không thể đưa ra khái niệm 'chuyển động' và 'thời gian' ngay từ đầu. Ta chỉ có thể nói và suy nghĩ về chuyển động vì nó tiên đoán được.

Từ tính tiên đoán được tới sự mô tả tổng quát về chuyển động

> Πλεῖν ἀνάγκε, ζῆν οὐκ ἀνάγκη.**
>
> Pompeius

Các vật lý gia hướng tới việc nói về chuyển động với độ chính xác cao nhất. Tính tiên đoán được là một phương diện của độ chính xác. Độ tiên đoán được cao nhất – tức là độ chính xác cao nhất – khi chuyển động được mô tả một cách tổng quát nhất.

Mọi nơi trên Trái đất – kể cả Úc – người ta đều thấy hòn đá 'rơi xuống'. Hiện tượng cổ xưa này dẫn tới việc khám phá lực hấp dẫn vạn vật. Để tìm ra nó, điều cần thiết là tìm một mô tả lực hấp dẫn đúng *ở mọi nơi*. Quan sát bổ sung duy nhất mà ta cần nhận biết để suy ra kết quả $a = GM/r^2$ là sự thay đổi của trọng lực theo độ cao.

Tóm lại, suy nghĩ *một cách tổng quát* sẽ giúp ta mô tả chuyển động chính xác hơn và các tiên đoán của ta hữu ích hơn. Làm thế nào để ta có thể mô tả một cách tổng quát nhất? Hoá ra có 6 hướng tiếp cận cho câu hỏi này, mỗi hướng đều có ích cho cuộc hành trình lên đỉnh Hành Sơn của chúng ta. Trước tiên là một tổng quan; sau đó ta sẽ tìm hiểu từng hướng.

1. *Nguyên lý tác dụng* hay *nguyên lý biến phân*, hướng tiếp cận chuyển động tổng quát đầu tiên, phát sinh khi ta vượt qua giới hạn cơ bản của những điều ta đã biết cho tới nay. Khi ta tiên đoán chuyển động của một hạt từ gia tốc hiện tại của nó bằng một phương trình tiến hoá, ta đang sử dụng sự mô tả chuyển động có tính *địa phương* nhất. Trang 238 Ta dùng gia tốc của hạt tại một nơi và một thời điểm nào đó để xác định vị trí

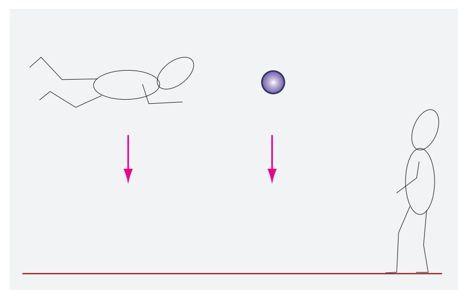
---

* Nếu các 'định luật' tự nhiên có tính tất định, chúng có mâu thuẫn với các 'quy tắc' luân lý và đạo đức hay không? Câu đố 438 s Người ta có phải chịu trách nhiệm về hành động của mình hay không?

** Navigare necesse, vivere non necesse. 'Điều khiển thì cần thiết, sống thì không.' Gnaeus Pompeius Xem 190 Magnus (106–48 bce) được Plutarchus (*c.* 45 tới *c.* 125) trích dẫn theo cách này.



HÌNH 182 Hình dạng con đường để hòn đá đen trượt xuống nhanh nhất từ điểm A tới điểm thấp nhất B là hình nào?



HÌNH 183 Ta có thể mô tả chuyển động theo một cách phổ quát cho mọi quan sát viên không?

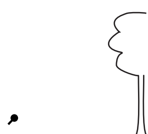
và chuyển động của nó *ngay sau* thời điểm đó và *ngay trong vùng lân cận* của nơi đó. Như vậy các phương trình tiến hoá có một 'chân trời' tưởng tượng có bán kinh là 0.

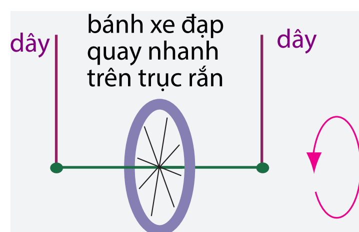
Trái với các phương trình tiến hoá là các nguyên lý biến phân. Một thí dụ nổi tiếng được minh hoạ trong Hình 182. Câu đố là tìm đường đi để vật trượt nhanh nhất từ điểm cao nhất tới điểm thấp nhất. Đường tìm thấy được gọi là *đường đoản thời*, từ
Câu đố 439 d
tiếng Hy Lạp cổ có nghĩa là 'thời gian ngắn nhất'. Câu đố này hỏi về tính chất của cả chuyển động trong *mọi lúc* và *ở mọi nơi*. Những câu hỏi loại này đòi hỏi cách tiếp cận tổng quát, sẽ đem đến cho ta một cách mô tả chuyển động đơn giản, chính xác và hấp dẫn: nguyên lý *lười vũ trụ*, còn được gọi là nguyên lý *tác dụng cực tiểu*.

2. *Thuyết tương đối*, hướng tiếp cận tổng quát thứ nhì, nổi lên khi ta so sánh các mô tả khác nhau của cùng một hệ thống do *mọi quan sát viên khả hữu* đưa ra. Thí dụ như các quan sát của một người nào đó rơi từ một vách đá – như ta thấy trong Hình 183 – một hành khách trong một chiếc roller coaster và một quan sát viên trên Mặt đất thường khác nhau. Mối liên hệ giữa các quan sát viên này được gọi là các *phép biến đổi đối xứng*, đem đến cho ta một mô tả chuyển động tổng quát, đúng với mọi người. Hướng này cũng đưa ta tới Thuyết tương đối của Einstein.

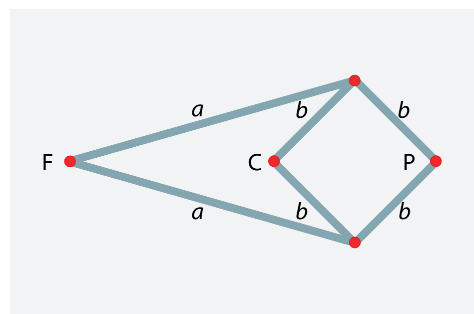
3. *Cơ học của các vật rắn linh hoạt*, khác với chất điểm, cần trong việc tìm hiểu cây cối và động vật trong đời sống thông thường. Đối với những vật này, ta muốn tìm hiểu cách chuyển động của *tất cả các phần* của chúng. Thí dụ như kết quả phản trực giác của thí nghiệm trong Hình 184 cho ta thấy lý do chủ đề này đáng được quan tâm.
Câu đố 440 e
Bánh xe quay nhanh được treo tại một đầu của trục quay vẫn còn nằm ngang nhưng quay chầm chậm quanh sợi dây.

Để thiết kế máy móc thì điều cốt yếu là tìm hiểu phương thức mà một nhóm các vật rắn tương tác với nhau. Liên kết Peaucellier-Lipkin được vẽ trong Hình 185 là một
Xem 191
thí dụ. Khớp nối F được cố định trên tường. Hai thanh chuyển động làm cho 2 góc đối của hình thoi nối với 2 góc đối khác là C và P chuyển động. Kết cấu này có nhiều tính chất kỳ lạ. Trước hết, nó ngầm xác định một vòng tròn bán kính R sao cho ta luôn có hệ thức $r_C = R^2/r_P$ giữa các khoảng cách của khớp C và P đến tâm vòng tròn.
Câu đố 441 s
Đây là *phép nghịch đảo một hình tròn*. Bạn có thể tìm ra hình tròn này không? Thứ hai, nếu bạn đặt một viết chì vào khớp P, và cho C đi theo đường tròn nào đó, thì viết
Câu đố 442 s
chì P sẽ vẽ ra một đường thẳng. Bạn có thể tìm ra vòng tròn đó không? Như vậy kết





HÌNH 184 Điều gì sẽ xảy ra nếu một sợi dây bị cắt?



HÌNH 185 Một kết cấu nổi tiếng, liên kết Peaucellier-Lipkin, gồm có các thanh (xám) và các khớp nối (đỏ) và cho phép ta vẽ một đường thẳng bằng compa: cố định điểm F, đặt một viết chì vào khớp P, rồi di chuyển điểm C bằng một compa dọc theo một đường tròn.

cấu này cho phép ta vẽ một đường *thẳng* bằng một compa.

Xem 192

Một câu đố về máy móc nổi tiếng là phát minh một chiếc xe gỗ, với các bánh răng nối các bánh xe với mũi tên, có tính chất là bất kể đường đi của xe, mũi tên luôn luôn chỉ về phương Nam (xem Hình 187). Lời giải của câu đố này sẽ hữu ích ngay cả việc giúp ta tìm hiểu Thuyết tương đối tổng quát như ta sẽ thấy. Một chiếc xe như vậy sẽ cho phép ta đo độ cong của một mặt và của không gian.

Câu đố 443 d

Quyển II, trang 211

Một bộ phận máy móc quan trọng khác là *cơ cấu truyền động vi sai*. Không có nó xe sẽ không thể đi vào đường vòng. Bạn có thể giải thích cho các bạn của mình không?

Câu đố 444 e

Thiên nhiên cũng sử dụng các bộ phận máy móc. Năm 2011, đinh ốc và đai ốc được tìm thấy trong một khớp nối của một con mọt ngũ cốc, *Trigonopterus oblongus*. Năm 2013, thí dụ đầu tiên về *bánh răng* sinh học đã được khám phá: trong bọ nhảy trên cây thuộc loài *Issus coleoptratus*, các bánh răng giúp cho 2 chân sau của nó nhảy một cách đồng bộ. Hình 186 cho thấy một số chi tiết của bánh răng này. Bạn có thể thưởng thức video về sự khám phá này tại www.youtube.com/watch?v=Q8fyUOxD2EA.

Xem 193

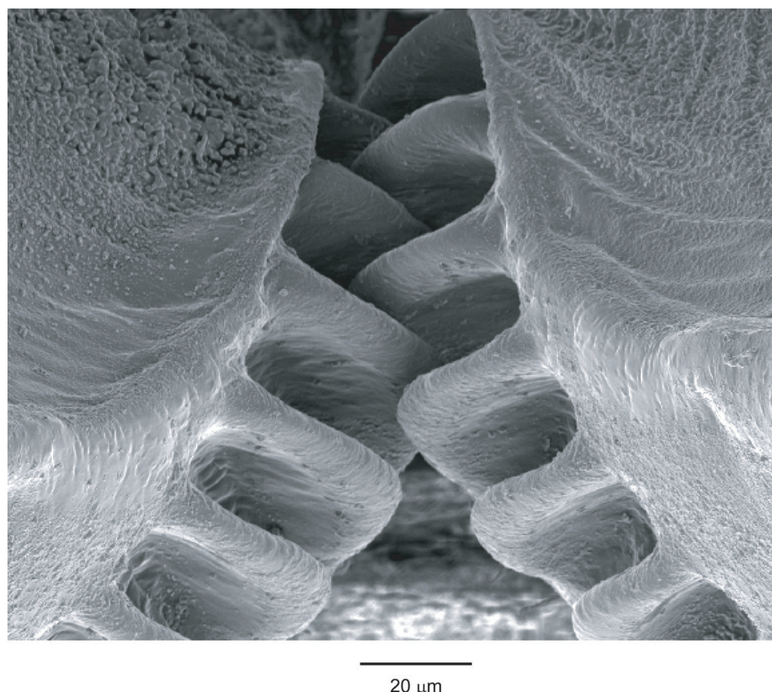
Xem 194

Một thí dụ khác về chuyển động rắn là phương thức chuyển động của con người, như chuyển động tổng quát của cánh tay được hợp thành từ một số chuyển động cơ bản. Tất cả các thí dụ này đều rút ra từ lĩnh vực kỹ thuật đầy hấp dẫn; không may là ta có hơi ít thời gian để tìm hiểu về chủ đề này trong cuộc hành trình.

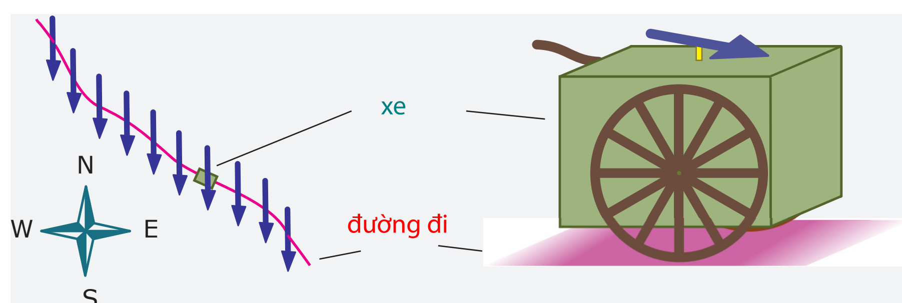
Xem 195

4. Hướng tiếp cận chuyển động tổng quát kế tiếp là sự mô tả *các vật không rắn linh hoạt*. Thí dụ như *Cơ học lưu chất* nghiên cứu về các dòng lưu chất (như mật, nước hay không khí) bao quanh các vật rắn (như muỗng, tàu thuỷ, buồm hay cánh). Mục tiêu của nó là tìm hiểu phương thức chuyển động của *các phần* của lưu chất. Cơ học lưu chất mô tả cách bay của côn trùng, chim và phi cơ,* cách thuyền buồm đi ngược

* Cơ chế bay của côn trùng vẫn còn được người ta tích cực nghiên cứu. Theo truyền thống, Cơ học lưu chất tập trung vào các hệ thống lớn như tàu, thuyền và phi cơ. Thật vậy, vật nhân tạo nhỏ nhất có thể bay trong vòng kiểm soát – tức là phi cơ hay trực thăng điều khiển bằng vô tuyến – thì lớn và nặng hơn so với nhiều vật thể bay mà sự tiến hoá đã chế tạo ra. Hoá ra việc kiểm soát việc bay của các vật nhỏ đòi hỏi nhiều kiến



HÌNH 186 Các bánh răng tìm thấy trong bọ nhảy trên cây (© Malcolm Burrows).



HÌNH 187 Một xe Chỉ-Nam: bất kể đường đi của xe, mũi tên luôn chỉ về phương Nam.

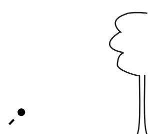
Xem 196
Câu đố 445 s

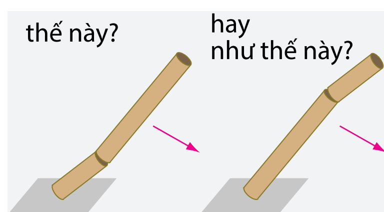
gió, điều xảy ra khi một trứng luộc chín được làm cho quay trên một lớp nước mỏng, hay cách làm cạn một chai đầy rượu nhanh nhất.

Giống như lưu chất, ta có thể nghiên cứu hành trạng của *các vật rắn biến dạng được*. Lĩnh vực nghiên cứu này được gọi là *Cơ học môi trường liên tục*. Nó nghiên cứu sự biến dạng và sự dao động của các cấu trúc linh hoạt. Nó tìm kiếm cách giải thích, thí dụ như tại sao chuông được làm thành các hình dạng đặc biệt; cách các vật lớn – như các ống khói ngã xuống trong Hình 188 – hay cách các vật nhỏ – như kim cương – vỡ ra khi bị ép mạnh; và cách con mèo quay người cho xuôi khi rơi xuống. Trong cuộc hành trình này ta sẽ thường xuyên gặp các vấn đề trong lĩnh vực này, có đụng chạm đến Thuyết tương đối và thế giới của các hạt sơ cấp.

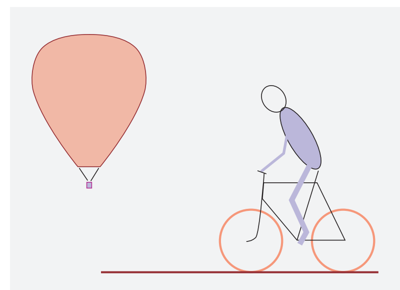
Câu đố 446 s

thức và mảnh lới hơn các vật lớn. Nhiều kiến thức về chủ đề này có trên Trang 278 ở quyển V.





HÌNH 188 Một ống khói bằng gạch đang ngã xuống sẽ gãy ở nơi nào và như thế nào?



HÌNH 189 Tại sao khí cầu không khí nóng vẫn phồng lên? Làm cách nào để đo khối lượng một xe đạp chỉ bằng 1 cái thước?





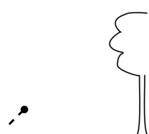
HÌNH 190 Tại sao hoa cúc tây – hay cúc mắt bò, Leucanthemum vulgare – thường có khoảng 21 cánh (hình bên trái và hình giữa) hay 34 cánh (hình bên phải)? (© Anonymous, Giorgio Di Iorio and Thomas Lüthi)

5. *Cơ học thống kê* là sự nghiên cứu chuyển động của *một số khổng lồ các hạt*. Tuy vậy Cơ học thống kê là một hướng tiếp cận chuyển động tổng quát khác. Các khái niệm cần để mô tả chất khí, như nhiệt độ, entropy và áp suất (xem Hình 189), là các công cụ chủ yếu của môn học này. Đặc biệt, các khái niệm của Cơ học thống kê giúp ta tìm hiểu lý do một số quá trình trong thiên nhiên không xảy ra theo chiều ngược lại. Các khái niệm này cũng sẽ giúp ta bước đầu tìm hiểu các hố đen.

6. Hướng tiếp cận chuyển động tổng quát sau cùng, *tự tổ chức*, liên quan tới tất cả các quan điểm đã đề cập ở trên *cùng một lúc*. Ta cần cách tiếp cận như vậy để tìm hiểu các kinh nghiệm thông thường và chính *cuộc sống*. Tại sao một bông hoa lại có một số đặc biệt các cánh hoa, như trong Hình 190? Một phôi thai trong tử cung phân hoá như thế nào? Cái gì làm tim ta đập? Các đỉnh núi và các kiểu thức mây đã hiện lên như thế nào? Ngôi sao và thiên hà tiến hoá ra sao? Gió đã tạo ra sóng biển như thế nào?

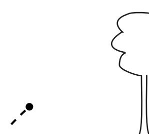
   Tất cả các hiện tượng này đều là thí dụ về các quá trình *tự tổ chức*; các khoa học gia về đời sống nói về các quá trình *sinh trưởng*. Dù ta gọi chúng là gì đi nữa, tất cả các quá trình này đều được đặc trưng bằng sự xuất hiện tự phát của các kiểu thức, hình dạng và chu trình. Quá trình tự tổ chức là đề tài nghiên cứu phổ biến, liên quan đến nhiều môn học bao gồm Sinh học, Hoá học, Y học, Địa chất học và Kỹ thuật.

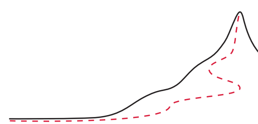
Bây giờ ta sẽ tìm hiểu 6 hướng tiếp cận chuyển động tổng quát. Ta sẽ bắt đầu với hướng tiếp cận đầu tiên, cụ thể là sự mô tả chuyển động bằng nguyên lý biến phân. Phương



pháp mô tả, tìm hiểu và tiên đoán chuyển động đẹp đẽ này là kết quả của nhiều thế kỷ của nỗ lực tập thể và là chỗ nổi bật nhất của Vật lý Galilei. Các nguyên lý biến phân cũng cung cấp nền tảng cho mọi hướng tiếp cận tổng quát khác. Ta cũng cần chúng cho các mô tả chuyển động sâu xa hơn mà ta sẽ tìm hiểu sau.







Chương 8

Đo sự biến đổi bằng tác dụng

Ta có thể mô tả chuyển động bằng các con số. Lấy một hạt đơn lẻ đang chuyển động. Biểu thức $(x(t), y(t), z(t))$ mô tả sự biến đổi của vị trí trong chuyển động theo thời gian. Sự mô tả chuyển động của hạt sẽ đầy đủ nếu ta thêm vào sự biến đổi của vận tốc $(v_x(t), v_y(t), v_z(t))$ theo thời gian. Việc nhận thức rằng 2 biểu thức này mô tả hoàn toàn hành trạng của một hạt chuyển động là một hòn đá tảng trong sự phát triển của Vật lý hiện đại.

Ta sẽ có được hòn đá kế tiếp bằng cách trả lời một câu hỏi ngắn nhưng khó. Nếu chuyển động là một loại *biến đổi*, như người Hy Lạp đã nói,

Trang 21

▷ Làm thế nào để ta *đo được* lượng biến đổi đó?

Các Vật lý gia mất gần 2 thế kỷ nỗ lực để tìm ra cách đo lượng biến đổi. Đúng ra ta có thể đo được lượng biến đổi bằng 1 con số. Do quá trình nghiên cứu kéo dài, đại lượng đo sự biến đổi có một cái tên kỳ lạ: *tác dụng (vật lý)*,** thường viết tắt là *S*. Để nhớ lại mối liên hệ giữa 'action' (tác dụng) với biến đổi, ta chỉ cần nghĩ về một bộ film Hollywood: nhiều 'hành động' đồng nghĩa với nhiều biến động.

Việc đưa ra tác dụng vật lý là số đo biến đổi rất quan trọng vì nó cung cấp sự mô tả chuyển động đầu tiên và cũng là *tổng quát*, hữu dụng nhất. Đúng ra, ta có đủ khả năng để định nghĩa tác dụng một cách trực tiếp.

Hãy tưởng tượng ta có 2 hình chụp một hệ thống ở 2 thời điểm khác nhau. Làm cách nào bạn có thể xác định lượng biến đổi giữa 2 hình này? Khi nào vật biến đổi nhiều và khi nào thì ít? Trước hết, một hệ có *nhiều* bộ phận chuyển động thì có *nhiều* biến đổi. Như vậy sẽ hợp lý nếu ta cho rằng tác dụng của hệ gồm nhiều tiểu hệ độc lập sẽ là *tổng* tác dụng của những tiểu hệ này.

** Cũng cần chú ý rằng 'tác dụng' này không giống như 'tác dụng' xuất hiện trong các phát biểu như 'mỗi tác dụng đều có một phản tác dụng bằng và ngược chiều'. Từ này, do Newton dùng để gọi lực, không gây ra trở ngại gì do đó đã được sử dụng lại. Sau Newton, thuật ngữ 'tác dụng' được sử dụng với ý nghĩa trung gian trước khi nó có ý nghĩa như bây giờ. Đây là ý nghĩa duy nhất được sử dụng trong sách này.

Một thuật ngữ khác đã được tái sử dụng là 'nguyên lý tác dụng cực tiểu'. Trong các sách cũ nó có nghĩa khác với nghĩa trong sách này. Hiện nay, nó thường được gọi là *nguyên lý Hamilton* trong các nước Anglo-Saxon, mặc dù nó (chủ yếu) bắt nguồn từ những người khác, đặc biệt là Leibniz. Tên và nghĩa cũ không còn được sử dụng.

Đằng sau những thay đổi ý nghĩa thuật ngữ này là câu chuyện sôi nổi của những nỗ lực kéo dài 2 thế kỷ để mô tả chuyển động được gọi là *nguyên lý cực hạn* hay *nguyên lý biến phân*: mục tiêu là hoàn thiện và phát triển công trình do Leibniz khởi xướng. Các nguyên lý này hiện nay chỉ có ý nghĩa lịch sử vì chúng chỉ là các trường hợp đặc biệt của nguyên lý tác dụng cực tiểu.

Xem 197



HÌNH 191 Giuseppe Lagrangia/Joseph Lagrange (1736–1813).



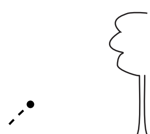
HÌNH 192 Tác dụng vật lý đo độ biến đổi: một thí dụ về quá trình có tác dụng lớn (© Christophe Blanc).

Thứ hai, các hệ có năng lượng hay tốc độ *lớn* như các bùng nổ trong Hình 192 thì biến đổi nhiều hơn các hệ có năng lượng hay tốc độ nhỏ. Thật vậy, ta đã gọi năng lượng Trang 112 là đại lượng đo sự biến đổi của hệ thống theo thời gian.

Thứ ba, biến đổi thường – nhưng không luôn luôn – *tích luỹ theo thời gian*. Trong các trường hợp khác, độ biến đổi hiện tại có thể bù trừ với độ biến đổi trước đó, như trong một con lắc, khi hệ trở lại trạng thái ban đầu. Như vậy độ biến đổi có thể tăng hay giảm theo thời gian.

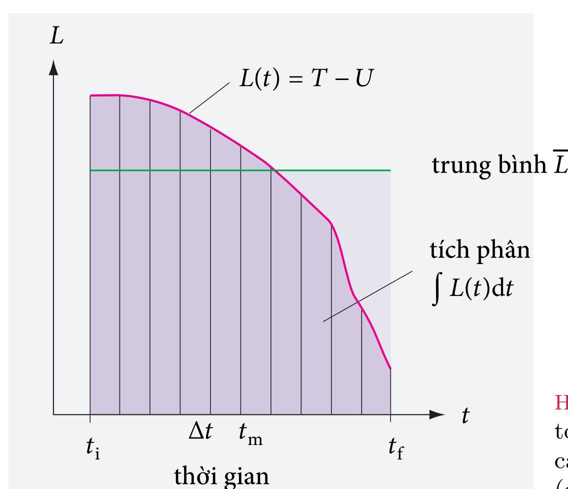
Sau cùng, đối với một hệ mà chuyển động được *lưu trữ*, *biến đổi* hay *chuyển dời* từ tiểu hệ này sang tiểu hệ khác, đặc biệt khi động năng được lưu trữ hay biến thành thế năng, độ biến đổi *giảm đi theo thời gian*.

Kết hợp các tính chất trên ta suy ra:



BẢNG 31 Một số tác dụng đối với các biến đổi hay quá trình đã được quan sát hay tưởng tượng ra.

Hệ và quá trình	Giá trị tác dụng gần đúng
Tác dụng đo được cực tiểu	$1.1 \cdot 10^{-34}$ Js
Quang	
Độ đen nhỏ nhất của film ảnh	$< 10^{-33}$ Js
Đèn flash máy ảnh	*c.* 10^{-17} Js
Điện	
Electron bắn ra từ nguyên tử/phân tử	*c.* 10^{-33} Js
Dòng điện trong tia sét	*c.* 10^{4} Js
Cơ và vật liệu	
Tách rời 2 nguyên tử sắt lân cận	*c.* 10^{-33} Js
Bẻ gãy 1 thanh thép	*c.* 10^{1} Js
Cây bị gió uốn cong từ bên này sang bên kia	*c.* 500 Js
Làm biến mất một con thỏ trắng bằng ảo thuật 'thực'	*c.* 100 PJs
Giấu một con thỏ trắng đi	*c.* 0.1 Js
Tông xe	*c.* 2 kJs
Lái xe ngừng trong chớp mắt	*c.* 20 kJs
Tự nâng mình lên cao 1 m trong 1 phút	*c.* 40 kJs
Động đất mạnh	*c.* 1 PJs
Lái xe biến mất trong chớp mắt	*c.* 1 ZJs
Mặt trời mọc	*c.* 0.1 ZJs
Hoá	
Va chạm của nguyên tử trong chất lỏng ở nhiệt độ phòng	*c.* 10^{-33} Js
Ngửi thấy 1 phân tử	*c.* 10^{-31} Js
Đốt nhiên liệu trong cylindre ở thì nổ của động cơ xe hơi	*c.* 10^{4} Js
Giữ cho cái ly không rơi	*c.* 0.8 Js
Đời sống	
Phân tử không khí chạm màng nhĩ	*c.* 10^{-32} Js
Trứng thụ tinh	*c.* 10^{-20} Js
Sự phân bào	*c.* 10^{-15} Js
Cái đập cánh của ruồi	*c.* 10^{-10} Js
Hoa nở lúc bình minh	*c.* 1 nJs
Đỏ mặt	*c.* 10 mJs
Độ biến đổi cực đại của não trong 1 phút	*c.* 5 Js
Người bước đi một khoảng chiều dài một thân mình	*c.* 10^{2} Js
Sinh nở	*c.* 2 kJs
Biến đổi do nhân sinh	*c.* 1 EJs
Hạt nhân, ngôi sao và hơn nữa	
Phản ứng dung hợp một hạt nhân trong ngôi sao	*c.* 10^{-15} Js
Sự bùng nổ tia gamma	*c.* 10^{46} Js
Vũ trụ sau khi trải qua 1s	không xác định được



HÌNH 193 Xác định biến đổi hay tác dụng toàn phần bằng cách cộng (hay tích phân) các biến đổi/tác dụng nhỏ theo thời gian (được đơn giản hoá để cho rõ ràng).

▷ Số đo tự nhiên của biến đổi là giá trị trung bình của (động năng - thế năng) * thời gian trôi qua.

Đại lượng này có các tính chất: nó là tổng của các đại lượng tương ứng đối với mọi tiểu hệ nếu các tính chất này độc lập; nó thường tăng theo thời gian; và nó giảm nếu hệ biến đổi chuyển động thành thế năng. Câu đố 447 e

Như vậy *tác dụng vật lý S*, đo độ biến đổi trong 1 hệ vật lý, được định nghĩa là

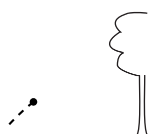
$$S = \overline{L}\,\Delta t = \overline{T-U}\,(t_{\mathrm{f}} - t_{\mathrm{i}}) = \int_{t_{\mathrm{i}}}^{t_{\mathrm{f}}} (T-U)\;\mathrm{d}t = \int_{t_{\mathrm{i}}}^{t_{\mathrm{f}}} L\;\mathrm{d}t\;, \qquad (72)$$

Trang 186 trong đó T là động năng, U là thế năng, L là hiệu giữa chúng và gạch ngang trên là tính trung bình theo thời gian. Đại lượng L được gọi là *hàm Lagrange* của hệ,* mô tả những gì được cộng thêm vào theo thời gian khi vật thay đổi. Ký hiệu $\int$ là 'S' kéo dài, viết tắt của 'sum' và được đọc là 'tích phân của'. Trong các thuật ngữ trực giác nó chỉ định phép toán – *tích phân* – cộng các giá trị của một đại lượng thay đổi trong những bước thời gian rất nhỏ dt. Thời điểm đầu và cuối được viết tương ứng dưới và trên dấu tích phân. Hình 193 minh hoạ ý tưởng này: tích phân chỉ đơn giản là diện tích phần sẫm màu dưới đường cong $L(t)$.

Về mặt toán học, tích phân của Lagrangian của đường cong $L(t)$, được định nghĩa như sau Câu đố 448 s

$$\int_{t_{\mathrm{i}}}^{t_{\mathrm{f}}} L(t)\;\mathrm{d}t = \lim_{\Delta t \to 0} \sum_{\mathrm{m=i}}^{\mathrm{f}} L(t_{\mathrm{m}})\Delta t = \overline{L} \cdot (t_{\mathrm{f}} - t_{\mathrm{i}})\;. \qquad (73)$$

* Nó được đặt tên theo Giuseppe Lodovico Lagrangia (b. 1736 Torino, d. 1813 Paris), tức là Joseph Louis Lagrange. Ông là Toán gia quan trọng vào thời đó; ông khởi nghiệp ở Turin, làm việc trong 20 năm ở Berlin, và 26 năm sau cùng ở Paris. Ngoài ra ông còn nghiên cứu Lý thuyết số và Cơ học giải tích, là nơi ông phát triển phần lớn các công cụ toán học được sử dụng ngày nay để tính toán trong Cơ học cổ điển và Thuyết hấp dẫn cổ điển. Ông vận dụng thành công các công cụ này với các chuyển động trong Thái dương hệ.



Nói cách khác, *tích phân* là giới hạn khi khoảng thời gian nhỏ đi, của tổng diện tích của các dải chữ nhật gần bằng với hàm. Vì dấu $\sum$ cũng có nghĩa là tổng và vì Δt vô cùng nhỏ được viết thành dt, nên ta có thể hiểu được ký hiệu dùng cho phép tính tích phân. Tích phân là tổng của các dải. Ký hiệu do Gottfried Wilhelm Leibniz phát triển để làm cho điểm này được chính xác. Nói theo quan điểm Vật lý, tích phân của Lagrangian đo *hiệu ứng toàn phần* mà L tích luỹ theo thời gian. Thật vậy, tác dụng được gọi là 'hiệu ứng' trong một số ngôn ngữ như tiếng Đức. Hiệu ứng tích luỹ chính là *độ biến đổi toàn phần* trong hệ thống. Tóm lại,

▷ Tích phân của Lagrangian, hay tác dụng, đo độ biến đổi toàn phần xảy ra trong một hệ.

Tác dụng vật lý là độ biến đổi toàn phần. Tác dụng, hay độ biến đổi, là tích phân của Lagrangian theo thời gian. Đơn vị của tác dụng, và độ biến đổi, là đơn vị của năng lượng, Joule, nhân cho đơn vị thời gian, giây.

▷ Tác dụng được đo bằng Js.

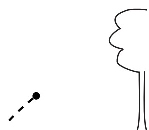
Giá trị này lớn tức là thay đổi nhiều. Bảng 31 cho thấy một số tác dụng quan sát được trong thiên nhiên. Để hiểu kỹ định nghĩa của tác dụng, ta bắt đầu với trường hợp đơn giản nhất: hệ có thế năng bằng 0 như một hạt chuyển động tự do. Điều hiển nhiên là động năng càng cao, độ biến đổi trong thời gian đã cho càng nhiều. Tương tự, nếu ta quan sát hạt tại 2 thời điểm, chúng càng xa thì độ biến đổi càng lớn. Độ biến đổi của một hạt tự do tích luỹ theo thời gian đúng như ta mong đợi.

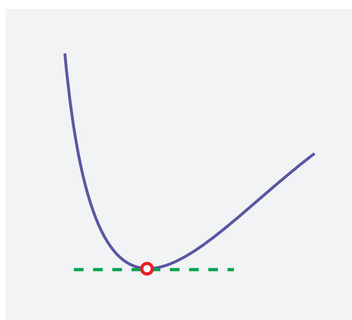
Kế đến ta tìm hiểu trường hợp hạt chuyển động trong một thế. Thí dụ như một hòn đá rơi tự do thì thế năng giảm để đổi lấy động năng. Động năng được lưu trữ dưới dạng thế năng càng lớn, độ biến đổi càng ít. Do đó có dấu trừ trong định nghĩa của L. Nếu ta tìm hiểu 1 hạt được ném lên trong không khí rồi rơi xuống, đường cong của $L(t)$ đầu tiên ở dưới trục thời gian rồi lên trên. Ta nên chú ý rằng định nghĩa của tích phân làm cho diện tích xám *ở dưới* trục thời gian *có giá trị âm*. Độ biến đổi sẽ âm và được bù trừ với độ biến đổi sau đó, như ta mong đợi.

Để đo độ biến đổi đối với hệ gồm nhiều thành phần độc lập, ta chỉ cần cộng tất cả động năng rồi trừ cho tất cả thế năng. Kỹ thuật này cho phép ta xác định tác dụng đối với chất khí, chất lỏng và chất rắn. Tóm lại, tác dụng là một đại lượng có *cộng tính*. Dù các thành phần có tương tác với nhau, ta vẫn tính được kết quả đúng.

Tóm lại, số đo tác dụng vật lý là độ biến đổi quan sát được trong một hệ giữa hai thời điểm. Tác dụng, hay độ biến đổi, được đo bằng Js. Tác dụng vật lý lượng hoá độ biến đổi bắt nguồn từ một quá trình vật lý. Điều này đúng cho *mọi* hiện tượng tức là mọi quá trình và mọi hệ thống: một viên pháo nổ, một cái vuốt ve người yêu hay một màu thay đổi trên màn hình máy tính. Sau này ta sẽ khám phá ra rằng ta cũng có thể mô tả sự thay đổi bằng 1 con số trong Thuyết tương đối và Thuyết lượng tử: mọi sự thay đổi *bất kỳ* diễn ra trong các hệ trong thiên nhiên, dù là vận chuyển, biến đổi hay tăng trưởng, đều có thể mô tả bằng 1 con số.

Trang 20





HÌNH 194 Cực tiểu của một đường cong có độ dốc bằng 0.

Nguyên lý tác dụng cực tiểu

> Những người lạc quan nghĩ rằng đây là điều tốt nhất trong mọi thế giới khả hữu và kẻ bi quan cũng biết như vậy.
>
> Robert Oppenheimer

Bây giờ ta đã có số đo chính xác của độ biến đổi. Điều này giúp ta có một mô tả chuyển động đơn giản, tổng quát và mạnh mẽ. Trong thiên nhiên sự biến đổi xảy ra giữa 2 thời điểm luôn luôn có giá trị *nhỏ nhất*.

▷ *Trong thiên nhiên, tác dụng thì cực tiểu.*

Đây là điều cốt yếu của *nguyên lý tác dụng cực tiểu nổi tiếng*. Nó đúng đối với mọi chuyển động.* Trong tất cả các chuyển động khả hữu, thiên nhiên luôn luôn chọn chuyển động có độ biến đổi *nhỏ nhất*. Ta hãy nghiên cứu vài trường hợp.

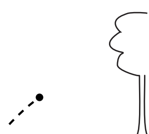
Trường hợp đơn giản của một hạt tự do, khi không có thế năng, nguyên lý tác dụng cực tiểu sẽ dẫn tới việc hạt chuyển động theo một đường *thẳng* với vận tốc *không đổi*. Mọi con đường khác sẽ làm cho tác dụng lớn hơn. Bạn có thể chứng minh điều này
Câu đố 449 e không?

Khi có lực hấp dẫn, một hòn đá được ném đi sẽ bay theo một parabol – hay chính xác hơn là một ellipse – vì một đường bất kỳ khác, thí dụ như hòn đá đi theo một vòng kín trong không khí, sẽ gây ra một tác dụng *lớn hơn*. Bạn cũng có thể tự chứng minh điều
Câu đố 450 e này.

Mọi thí nghiệm đều ủng hộ cho phát biểu đơn giản và cơ bản này: vật luôn luôn chuyển động theo cách tạo ra một giá trị tác dụng khả hữu nhỏ nhất. Phát biểu này áp dụng cho toàn quỹ đạo và mọi phần của nó. Bertrand Russell gọi nó là 'định luật lười của vũ trụ'. Ta cũng có thể gọi nó là nguyên lý *hiệu suất cực đại* của thiên nhiên.

Người ta cũng thường phát biểu ý tưởng tác dụng cực tiểu theo cách khác. Tác dụng thay đổi khi quỹ đạo thay đổi. Quỹ đạo thực sự là quỹ đạo có tác dụng nhỏ nhất. Bạn sẽ nhớ lại kiến thức phổ thông là tại điểm cực tiểu đạo hàm của một đại lượng triệt tiêu:

* Đúng ra, trong một số trường hợp vĩ mô tác dụng có thể là một điểm yên ngựa, và nó khoác cho nguyên
Xem 198 lý một vẻ sang cả: tác dụng có tính 'dừng'. Khác với điều ta thường nghe, tác dụng *không bao giờ* là một cực đại. Hơn nữa, đối với các thang đo (vô cùng nhỏ), tác dụng luôn luôn là một cực tiểu. Điều kiện toán học là biến phân bằng 0, được cho dưới đây, bao gồm tất cả các chi tiết này.



cực tiểu có một độ dốc bằng 0. Mối liên hệ này được biểu diễn trong Hình 194. Trong trường hợp này, ta không làm thay đổi một đại lượng mà thay đổi cả một con đường; do đó ta không nói về đạo hàm hay độ dốc mà nói về độ biến thiên. Ta thường viết độ biến thiên của tác dụng là δS. Như vậy *nguyên lý tác dụng cực tiểu* phát biểu rằng:

▷ Quỹ đạo thực giữa 2 điểm đầu cuối đặc biệt thoả điều kiện$\delta S = 0$

Các toán gia gọi điều kiện này là *nguyên lý biến phân*. Nên nhớ rằng các điểm đầu cuối phải xác định: ta phải so sánh các trường hợp có *cùng* điểm đầu và cuối.

Trước khi bàn thêm về nguyên lý tác dụng cực tiểu, ta cần kiểm tra lại rằng nó thực sự tương đương với phương trình tiến hoá.* Để làm việc này, ta có thể sử dụng một phương

* Đối với các bạn quan tâm, đây là một vài chú thích về sự tương đương giữa Lagrangian và phương trình tiến hoá. Trước tiên, không có Lagrangian đối với các hệ không bảo toàn hay *tiêu tán*. Ta thấy rằng không Trang 234 có thế năng đối với các chuyển động có *ma sát* (và nhiều hơn 1 chiều); do đó các trường hợp này không có tác dụng. Có một cách tiếp cận để vượt qua giới hạn này là sử dụng công thức tổng quát của nguyên lý tác dụng cực tiểu. Khi không có thế năng, ta có thể phát biểu độ biến thiên của *công* δW giữa các điểm x_i khác nhau trên quỹ đạo là

$$\delta W = \sum_i m_i \ddot{x}_i \delta x_i \,. \tag{74}$$

Khi đó chuyển động được mô tả theo cách sau đây:

$$\triangleright \text{ Quỹ đạo thực thoả mãn hệ thức } \int_{t_i}^{t_f} (\delta T + \delta W) \mathrm{d}t = 0 \quad \text{miễn là} \quad \delta x(t_i) = \delta x(t_f) = 0 \,. \tag{75}$$

Đại lượng bị thay đổi không có tên; nó đại diện cho một khái niệm tổng quát của độ biến đổi. Bạn có thể Câu đố 451 e kiểm tra lại rằng nó dẫn tới những phương trình tiến hoá đúng. Như vậy, mặc dù mô tả Lagrangian *thích hợp* chỉ có đối với các hệ *bảo toàn*, nguyên lý này đối với các hệ tiêu tán có thể được tổng quát hoá và vẫn còn hữu dụng.

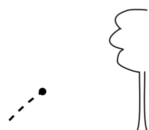
Nhiều vật lý gia thích cách tiếp cận khác. Điều mà toán gia gọi là sự tổng quát hoá là một trường hợp đặc biệt đối với vật lý gia: nguyên lý (75) che giấu một sự kiện, *tất cả* đều là kết quả của nguyên lý tác dụng cực tiểu nếu ta bao gồm đầy đủ các chi tiết vi mô. Không có ma sát trong lĩnh vực vi mô. Ma sát là một khái niệm vĩ mô và gần đúng.

Tuy vậy, có nhiều quan điểm toán học khá hữu ích dẫn tới các giới hạn thú vị nhờ sử dụng Lagrangian. Những giới hạn này, chỉ áp dụng cho thế giới nhìn theo lối cổ điển thuần tuý - đã được khám phá cách nay hàng trăm năm. Vào thời đó, chưa có máy tính điện tử và sự tìm hiểu các kỹ thuật tính toán mới rất quan trọng.

Các toạ độ được sử dụng trong việc kết nối với Lagrangian không nhất thiết là toạ độ Descartes. Toạ độ *suy rộng* đặc biệt hữu dụng khi có *các ràng buộc* trên chuyển động. Đây là trường hợp con lắc, nơi vật nặng luôn cách đều điểm treo hay đối với người trượt băng, nơi giày trượt băng phải chuyển động theo hướng Xem 199 mà nó chỉ. Toạ độ suy rộng có thể là sự hoà trộn của vị trí và động lượng. Chúng có thể chia thành vài loại tổng quát.

Toạ độ suy rộng được gọi là *holonom–vô thời* nếu chúng liên hệ với các toạ độ Descartes theo một phương thức cố định, độc lập với thời gian: các hệ vật lý được mô tả bằng các toạ độ như vậy bao gồm con lắc và một hạt trong trường thế. Toạ độ được gọi là *holonom–không dừng* nếu sự phụ thuộc có liên quan tới thời gian. Một thí dụ của hệ không dừng là con lắc có chiều dài phụ thuộc thời gian. Hai thuật ngữ dừng và Trang 392 không dừng là của Ludwig Boltzmann. Hai trường hợp này liên quan tới các hệ thống chỉ có thể được mô tả bằng tính chất hình học của chúng, được nhóm thành *các hệ holonom*. Thuật ngữ này là của Heinrich Hertz.

Quyển III, trang 101 Trạng thái tổng quát hơn được gọi là *không holonom*, hay *phi holonom*. Lagrangian chỉ hoạt động tốt trong các hệ holonom. Điều không may là, ý nghĩa của thuật ngữ ‘phi-holonom’ đã thay đổi. Ngày nay, thuật ngữ này cũng được sử dụng trong các hệ không dừng. Cách sử dụng hiện nay gọi các hệ liên quan đến vận tốc là phi-holonom. Do đó, một người trượt băng hay một đĩa lăn thường được gọi là một hệ



pháp tiêu chuẩn, được gọi là *phép tính biến phân*. Điều kiện $\delta S = 0$ hàm ý rằng tác dụng, tức là diện tích nằm dưới đường cong trong Hình 193, là nhỏ nhất. Suy nghĩ một chút ta sẽ thấy rằng nếu Lagrangian có dạng $L(x_n, v_n) = T(v_n) - U(x_n)$, thì diện tích sẽ cực tiểu
Câu đố 452 e khi

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial v_n}\right) = -\frac{\partial U}{\partial x_n} \qquad (76)$$

trong đó n chạy qua tất cả các toạ độ của các hạt.* Đối với một hạt đơn lẻ, *các phương*
Câu đố 453 e *trình chuyển động Lagrange* thu gọn thành

$$m\boldsymbol{a} = -\nabla U\ . \qquad (78)$$

Đây là phương trình tiến hoá: gia tốc nhân cho khối lượng hạt bằng gradient của thế năng U. Như vậy nguyên lý tác dụng cực tiểu dẫn tới phương trình chuyển động. (Bạn
Câu đố 454 s có thể chứng minh là chiều ngược lại cũng đúng hay không?)

Nói cách khác, *mọi hệ đều tiến hoá sao cho độ biến đổi hay tác dụng nhỏ nhất.* Thiên nhiên rất tiết kiệm. Thiên nhiên cực kỳ hiệu quả. Hay: thiên nhiên rất lười. Như vậy thiên nhiên đối nghịch với phim kinh dị Hollywood, là phim rất nhiều hành động; thiên nhiên giống như một ông lão thông thái luôn giảm thiểu hành động.

Nguyên lý tác dụng cực tiểu phát biểu rằng quỹ đạo thực là đường mà đối với nó *trung bình* của Lagrangian trên cả quỹ đạo là cực tiểu (xem Hình 193). Thiên nhiên là
Câu đố 455 e một Dr. Dolittle. Bạn có thể chứng minh điều này không? Quan điểm này cho phép ta trực tiếp suy ra các phương trình Lagrange. (76)

Nguyên lý tác dụng cực tiểu phân biệt quỹ đạo thực với các quỹ đạo có thể tưởng tượng khác. Điều này khiến cho Leibniz đi tới câu diễn dịch nổi tiếng: 'thế giới thực là thế giới tốt nhất trong các thế giới khả hữu.'** Ta có thể gạt bỏ điều này vì xem nó như một suy đoán siêu hình nhưng ta vẫn có thể cảm nhận được sự hấp dẫn của nó. Leibniz bị nguyên lý này kích động rất nhiều vì lần đầu tiên một hiện tượng thực được phân biệt với mọi khả năng tưởng tượng khác. Lần đầu tiên việc tìm kiếm nguyên do của sự vật

---

phi-holonom. Cẩn thận trọng khi quyết định phi-holonom muốn ám chỉ điều gì trong các ngữ cảnh đặc biệt.

Mặc dù việc sử dụng Lagrangian hay tác dụng có giới hạn của nó, nhưng điều này, ở mức độ vi mô không làm ta bận tâm vì các hệ vi mô luôn luôn bảo toàn, holonom và vô thời. Ở mức độ cơ bản, các phương trình tiến hoá và Lagrangian thực sự tương đương với nhau.

* Dạng tổng quát nhất của Lagrangian $L(q_n, \dot{q}_n, t)$, sử dụng toạ độ holonom suy rộng q_n, dẫn tới phương trình Lagrange có dạng

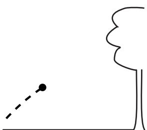
$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_n}\right) = \frac{\partial L}{\partial q_n}\ . \qquad (77)$$

Để suy ra các phương trình này, ta cũng cần hệ thức $\delta\dot{q} = d/dt(\delta q)$. Hệ thức này chỉ đúng đối với toạ độ *holonom* được giới thiệu trong chú thích trước và giải thích cho sự quan trọng của chúng.

Ta cũng nên chú ý rằng Lagrangian đối với một hệ chuyển động thì không duy nhất; tuy vậy, việc nghiên cứu sự liên hệ giữa các Lagrangian khác nhau đối với hệ chuyển động đã cho không thuộc phạm vi cuộc
Xem 200 hành trình này.

Ngoài ra, chữ q đối với vị trí và p đối với động lượng do toán gia Carl Jacobi (b. 1804 Potsdam, d. 1851 Berlin) đưa vào Vật lý.

** Tư tưởng này đã bị triết gia đầy thế lực Voltaire (b. 1694 Paris, d. 1778 Paris) chế nhạo trong các bài viết sáng sủa, đặc biệt là trong quyển sách nổi tiếng *Candide*, được viết năm 1759, và vẫn còn giá trị.



đã trở thành một phần nghiên cứu của Vật lý. Thế giới có thể khác với những gì nó đang thể hiện không? Trong nguyên lý tác dụng cực tiểu, ta có một ám chỉ về một câu trả lời phủ định. Leibniz cũng suy ra một hệ quả là các vị thần không thể lựa chọn hành động
Câu đố 456 s của mình. (Còn bạn có suy nghĩ gì?)

Lagrangian và chuyển động

> “Đừng bao giờ nhầm lẫn chuyển động với hành động.”
> Ernest Hemingway

Xem 201

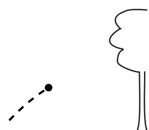
Các hệ thống tiến hoá bằng cách giảm thiểu sự biến đổi. Biến đổi hay tác dụng, là tích phân theo thời gian của Lagrangian. Là một cách mô tả chuyển động, Lagrangian có nhiều lợi điểm hơn phương trình tiến hoá. Trước tiên, Lagrangian thường *cô đọng* hơn việc viết các phương trình tiến hoá tương ứng. Thí dụ như chỉ có *một* Lagrangian cần cho một hệ thống, tuy nó bao gồm nhiều hạt. Người ta phạm ít sai lầm hơn, đặc biệt là sai dấu, vì người ta học hỏi một cách nhanh chóng khi thực hiện các tính toán. Bạn chỉ cần thử viết ra các phương trình tiến hoá của một chuỗi các khối lượng nối với nhau bằng
Câu đố 457 e các lò xo; rồi so sánh công sức này với việc lấy đạo hàm bằng cách dùng Lagrangian. (Hệ này thường được nghiên cứu vì nó hành xử giống như một chuỗi nguyên tử trong nhiều phương diện.) Một thí dụ khác: David Hilbert chỉ mất vài tuần để suy ra các phương trình chuyển động của Thuyết tương đối tổng quát bằng cách sử dụng Lagrangian, trong khi Albert Einstein đã làm việc trong 10 năm để trực tiếp tìm ra chúng.

Ngoài ra, việc mô tả bằng Lagrangian đúng với một tập hợp toạ độ *bất kỳ* trong việc mô tả đối tượng cần nghiên cứu. Các toạ độ này không cần là toạ độ Descartes; ta có thể chọn tuỳ thích: toạ độ trụ, cầu, hyperbol, v.v... Các *toạ độ suy rộng* này cho phép ta tính toán nhanh chóng hành trạng của nhiều cơ hệ mà trong thực tế phức tạp đến nỗi ta không thể mô tả nó bằng toạ độ Descartes. Thí dụ để lập trình cho chuyển động của cánh tay robot, các góc của khớp nối cho ta một cách mô tả rõ ràng hơn các toạ độ Descartes của đầu cánh tay. Góc không phải là toạ độ Descartes. Chúng đơn giản hoá thật đáng kể các tính toán: công việc tìm ra phương thức kinh tế nhất để di chuyển bàn tay của robot từ điểm này sang điểm khác cũng được giải quyết dễ dàng hơn rất nhiều khi ta dùng các biến góc.

Điều quan trọng hơn, Lagrangian cho ta suy ra một cách nhanh chóng các tính chất cốt yếu của một hệ, cụ thể là, *tính đối xứng* và *các đại lượng bảo toàn* của nó. Ta sẽ phát
Trang 276 triển ý tưởng quan trọng này và sử dụng nó thường xuyên suốt cuộc hành trình.

Sau cùng, việc thiết lập Lagrangian có thể được tổng quát hoá để bao gồm *mọi loại tương tác*. Vì các khái niệm động năng và thế năng có tính tổng quát, nguyên lý tác dụng cực tiểu có thể được sử dụng trong Điện học, Từ học và Quang học cũng như trong Cơ học. Nguyên lý tác dụng cực tiểu rất quan trọng đối với Thuyết tương đối tổng quát và Thuyết lượng tử, cho phép ta dễ dàng liên hệ cả hai lĩnh vực này với Cơ học cổ điển.

Khi nguyên lý tác dụng cực tiểu trở nên nổi tiếng, người ta áp dụng nó vào các bài toán
Xem 197 mà số lượng của chúng không ngừng gia tăng. Ngày nay, Lagrangian được sử dụng trong mọi lĩnh vực từ nghiên cứu sự va chạm của các hạt sơ cấp cho tới lập trình cho chuyển động của robot trong trí tuệ nhân tạo. (Bảng 32 cho ta thấy một số thí dụ.) Tuy vậy, ta nên nhớ rằng dù nó có tính đơn giản và hữu dụng đáng kể, việc thiết lập Lagrangian *tương đương với* phương trình tiến hoá. Nó không tổng quát cũng không đặc thù hơn.



BẢNG 32 Một số Lagrangian.

Hệ	Lagrangian	Các đại lượng
Chất điểm tự do không tương đối tính	$L = \frac{1}{2}mv^2$	khối lượng m, tốc độ $v = dx/dt$
Hạt trong thế	$L = \frac{1}{2}mv^2 - m\varphi(x)$	thế hấp dẫn φ
Vật treo trên lò xo	$L = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}kx^2$	độ biến dạng x, hằng số lò xo k
Vật gắn vào lò xo đặt trên bàn không ma sát	$L = \frac{1}{2}mv^2 - k(x^2 + y^2)$	hằng số lò xo k, toạ độ x, y
Chuỗi khối lượng và lò xo (mô hình đơn giản của nguyên tử trong một tinh thể tuyến tính)	$L = \frac{1}{2}m\sum v_i^2 - \frac{1}{2}m\omega^2 \sum_{i,j}(x_i - x_j)^2$	toạ độ x_i, tần số mạng ω
Chất điểm tự do, tương đối tính	$L = -c^2m\sqrt{1 - v^2/c^2}$	khối lượng m, tốc độ v, tốc độ ánh sáng c

Câu đố 458 s Đặc biệt, nó *không phải là sự giải thích* cho chuyển động mà chỉ là một cách nhìn khác về chuyển động. Đúng ra việc tìm kiếm một ‘định luật’ vật lý mới về chuyển động *chỉ là* tìm kiếm một Lagrangian mới. Điều này rất có ý nghĩa, vì sự mô tả thiên nhiên luôn luôn cần mô tả sự biến đổi. Sự biến đổi trong thiên nhiên luôn luôn được mô tả bằng tác dụng và Lagrangian.

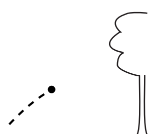
Nguyên lý tác dụng cực tiểu phát biểu rằng tác dụng sẽ cực tiểu khi các điểm đầu cuối Xem 202 của chuyển động và đặc biệt thời gian giữa chúng được cố định. Ít ai biết rằng nguyên lý ngược lại cũng đúng: nếu giá trị tác dụng – giá trị biến đổi – được giữ nguyên, thời gian Câu đố 459 ny trôi qua của chuyển động thật sự sẽ *cực đại*. Bạn có thể chứng minh điều này không?

Mặc dù nguyên lý tác dụng cực tiểu không phải là sự giải thích chuyển động, ít nhiều gì thì nó cũng gợi ra một sự giải thích như vậy. Tuy vậy ta cần kiên nhẫn. *Tại sao* thiên nhiên tuân theo nguyên lý tác dụng cực tiểu và *cách* mà nó tuân theo sẽ trở nên rõ ràng hơn khi ta tìm hiểu về Thuyết lượng tử.

Tại sao chuyển động thường bị giới nội?

Khi quan sát quanh ta trên Trái đất hay trên bầu trời, ta nhận thấy rằng vật chất phân bố không đều. Vật chất có khuynh hướng đến gần vật chất khác: nó tụ lại với nhau trong các *kết tập*. Hình 195 cho ta thấy một thí dụ điển hình. Một số thí dụ chính về kết tập Xem 203 được liệt kê trong Hình 196 và Bảng 33. Mọi kết tập đều có khối lượng và kích thước. Trong lược đồ kích thước - khối lượng của Hình 196, cả 2 thang đo đều là logarithm. Ta nên chú ý 3 đường thẳng: đường $m \sim l$ kéo dài từ khối lượng Planck* đi lên, qua hố đen, tới vũ trụ; đường $m \sim 1/l$ kéo dài từ khối lượng Planck đi xuống, tới kết tập nhẹ nhất; và đường vật chất thông thường với $m \sim l^3$, kéo dài từ nguyên tử đi lên, qua các vật thông thường, Trái đất tới Mặt trời. Phần đầu tiên của các đường, giới hạn hố đen, được giải thích bằng Thuyết tương đối tổng quát; hai phần sau, giới hạn kết tập, và đường vật chất

* Khối lượng Planck là $m_{Pl} = \sqrt{\hbar c/G} = 21.767(16)$ µg.





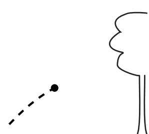
HÌNH 195 Chuyển động trong vũ trụ bị giới nội. (© Mike Hankey)

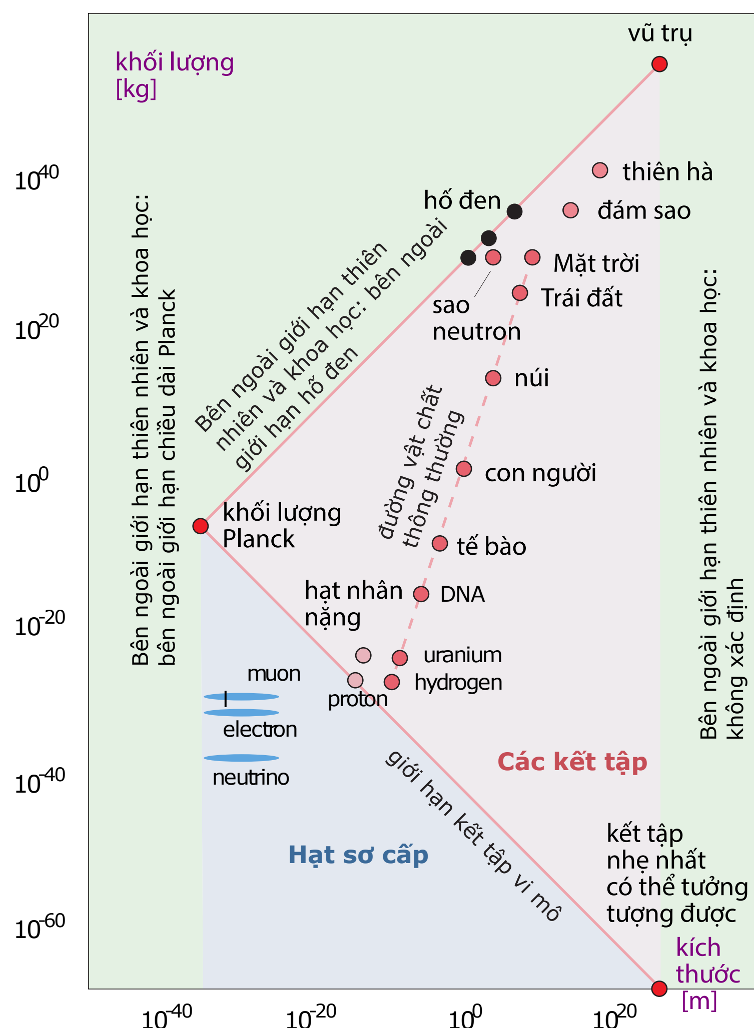
thông thường, được giải thích bằng Thuyết lượng tử.*

Các kết tụ bên ngoài đường vật chất thông thường cho thấy tương tác giữa các thành phần càng mạnh thì kết tập càng nhỏ. Nhưng tại sao vật chất chủ yếu chỉ tập trung trong vùng này?

Trước tiên, sự hiện hữu của các tương tác *hút* giữa các vật đã tạo thành các kết tập. Thứ hai, kết tập được hình thành do *ma sát*: khi 2 thành phần tới gần nhau, kết tập chỉ hình thành nếu năng lượng toả ra có thể biến đổi thành nhiệt. Thứ ba, kết tập có kích thước hữu hạn vì các tác dụng *đẩy* giữ cho các thành phần không suy sụp hoàn toàn. Ba yếu tố này khiến cho trong vũ trụ chuyển động bị giới nội thường xảy ra hơn chuyển động 'tự do'.

* Hình 196 cho thấy có vùng bên ngoài Vật lý; sau này ta sẽ biết điều này không đúng như vậy vì ta không thể xác định khối lượng và kích thước trong những vùng như vậy.





HÌNH 196 Các hạt sơ cấp và các kết tập được tìm thấy trong thiên nhiên.

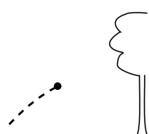
Chỉ có 3 loại lực hút tạo ra các kết tập: lực hấp dẫn, lực điện và tương tác hạt nhân mạnh. Tương tự như vậy, chỉ có 3 loại lực đẩy: chuyển động quay, áp suất và nguyên lý loại trừ Pauli (mà ta sẽ gặp sau này). Chín kết hợp hút và đẩy không phải đều xảy ra trong thiên nhiên. Bạn có thể tìm ra kết hợp thiếu trong Hình 196 và Bảng 33 không, và tại sao?

Quyển IV, trang 137
Câu đố 460 s

Lực hút, ma sát và lực đẩy khiến cho sự biến đổi và tác dụng được cực tiểu hoá khi các vật đến gần và kết tụ với nhau. Nguyên lý tác dụng cực tiểu dẫn tới tính ổn định của các kết tập. Ngoài ra, lịch sử hình thành cũng giải thích lý do tại sao có quá nhiều kết tập *quay*. Bạn có thể giải thích được không?

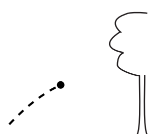
Câu đố 461 s

Nhưng tại sao lại có ma sát? Và tại sao lại có tương tác hút đẩy? Và tại sao – như ta đã thấy ở trên – trong quá khứ xa xưa vật chất *không* kết tụ với nhau? Để trả lời những câu hỏi này, trước tiên ta phải nghiên cứu một tính chất tổng quát khác của chuyển động: sự đối xứng.



BẢNG 33 Một số kết tập chính trong thiên nhiên.

Kết tập	Kích thước (đường kính)	SL	Thành phần
Kết tập giới nội do lực hấp dẫn			
Vật chất trong vũ trụ	*c.* 100 Ym	1	siêu đám thiên hà, nguyên tử hydrogen và helium
Quasar	10^{12} tới 10^{14} m	$20 \cdot 10^6$	baryon và lepton
Siêu đám thiên hà	*c.* 3 Ym	10^7	nhóm và đám thiên hà
Đám thiên hà	*c.* 60 Zm	$25 \cdot 10^9$	10 tới 50 thiên hà
Nhóm hay đám thiên hà	*c.* 240 Zm		50 tới hơn 2000 thiên hà
Nhóm Ngân hà	50 Zm	1	*c.* 40 thiên hà
Thiên hà tổng quát	0.5 tới 2 Zm	$3.5 \cdot 10^{12}$	10^{10} tới $3 \cdot 10^{11}$ ngôi sao, mây bụi và khí, có thể là các hệ sao
Ngân hà	1.0(0.1) Zm	1	10^{11} sao, mây bụi và khí, Thái dương hệ
Mây giữa các vì sao	lên tới 15 Em	$\gg 10^5$	hydrogen, nước đá và bụi
Hệ sao [a]	không biết	> 400	sao, hành tinh
Thái dương hệ	30 Pm	1	Mặt trời, hành tinh (đường kính quỹ đạo Diêm vương tinh: 11.8 Tm), Mặt trăng, tiểu hành tinh, sao chổi, bụi, khí
Đám mây Oort	6 tới 30 Pm	1	sao chổi, bụi
Vành đai Kuiper	60 Tm	1	tiểu hành tinh, sao chổi, bụi
Sao [b]	10 km tới 100 Gm	$10^{22\pm1}$	khí ion hoá: proton, neutron, electron, neutrino, photon
Mặt trời	1.39 Gm		
Hành tinh [a] (Mộc tinh, Trái đất)	143 Mm, 12.8 Mm	8+ > 400	chất rắn, chất lỏng, chất khí; đặc biệt, các nguyên tử nặng
Tiểu hành tinh (Varuna, v.v...)	50 tới 1 000 km	> 100 (est. 10^9)	chất rắn
Mặt trăng	10 tới 1 000 km	> 50	chất rắn
Sao neutron	10 km	> 1000	chủ yếu là neutron
Kết tập giới nội do lực điện từ [c]			
Hành tinh lùn, hành tinh vi hình, tiểu hành tinh [d]	1 m tới 2400 km	$> 10^6$	(10^9 theo ước tính) chất rắn, thường nguyên khối
Sao chổi	10 cm tới 50 km	$> 10^9$	(có thể 10^{12}) nước đá và bụi
Núi, chất rắn, chất lỏng, chất khí, phô mai	1 nm tới > 100 km	không có số liệu	phân tử, nguyên tử
Động vật, thực vật, kefir	5 µm tới 1 km	$10^{26\pm2}$	cơ quan, tế bào
não, người	0.2 m	10^{10}	neuron và các loại tế bào khác
Tế bào:		$10^{31\pm1}$	bào quan, màng, phân tử
nhỏ nhất (*Nanoarchaeum*			



Kết tập	Kích thước (đường kính)	SL	Thành phần
equitans)	*c.* 400 nm		phân tử
amíp	*c.* 600 µm		phân tử
lớn nhất (dây thần kinh cá voi, thực vật đơn bào)	*c.* 30 m		phân tử
Phân tử:		$10^{78\pm2}$	nguyên tử
H_2	*c.* 50 pm	$10^{72\pm2}$	nguyên tử
DNA (người)	2 m (tổng cộng cho mỗi tế bào)	10^{21}	nguyên tử
Nguyên tử, ion	30 pm tới 300 pm	$10^{80\pm2}$	electron và hạt nhân
Kết tập giới nội do tương tác yếu [c]			
Không			
Kết tập giới nội do tương tác mạnh [c]			
Hạt nhân	0.9 tới > 7 fm	$10^{79\pm2}$	nucleon
Nucleon (proton, neutron)	0.9 fm	$10^{80\pm2}$	quark
Meson	*c.* 1 fm	không có số liệu	quark
Sao neutron: xem phần trên			

a. Chỉ trong năm 1994 người ta tìm thấy bằng chứng đầu tiên về các vật thể quay quanh nhau khác Mặt trời; có trên 1000 *ngoại hành tinh* được tìm thấy cho tới nay, phần lớn ở quanh các sao F, G và K, bao gồm các sao neutron. Thí dụ như 3 vật thể quay quanh pulsar PSR 1257+12, và vành đai vật chất quay quanh sao β Pictoris. Các vật thể hình như là sao tối, sao lùn nâu hay các hành tinh khí lớn như Mộc tinh. Do sự giới hạn của các đài thiên văn, cho tới nay người ta chưa tìm thấy hệ nào giống Thái dương hệ. Đúng ra chỉ có vài hành tinh giống Trái đất đã được tìm thấy.

Xem 204

b. Mặt trời thuộc 7 % ngôi sao sáng nhất. Trong tất cả các sao, 80 %, là sao lùn đỏ M, 8 % là sao lùn cam K và 5 % là sao lùn trắng D: tất cả đều mờ. Hầu hết các ngôi sao khả kiến trên bầu trời đêm thuộc về 7 % sao sáng. Một số thuộc lớp sao xanh O hay B (như Spica, Regulus và Rigel); 0.7 % gồm có lớp sao sáng, trắng A (như Sao Thiên lang, Sao Chức nữ và Sao Ngưu lang); 2 % là lớp sao vàng trắng F (như Canopus, Procyon và Sao Bắc cực); 3.5 % là lớp sao vàng G (như Alpha Centauri, Capella hay Mặt trời). Các ngoại lệ bao gồm vài sao kềnh khả kiến K, như Arcturus và Aldebaran, và lớp sao hiếm M siêu kềnh, như Betelgeuse và Antares.

Quyển II, trang 255

c. Để có thêm thông tin về các kết tập *vi mô* hãy xem bảng các chất phức hợp.

Quyển V, trang 303
Xem 205

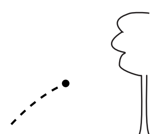
d. Người ta đã ước lượng có tới 10^{20} *các tiểu thể trong Thái dương hệ* (tiểu hành tinh, thiên thạch, planetoid hay hành tinh vi hình) nặng hơn 100 kg. Điều bất ngờ là cho tới nay không có tiểu hành tinh nào giữa Thuỷ tinh và Mặt trời – *Vulcanoids* theo giả thuyết – được tìm ra.

Các câu đố vui và lạ về Lagrangian

Nguyên lý tác dụng cực tiểu là một mô tả toán học bắt nguồn từ Leibniz. Ông đã hiểu tính hữu hiệu của nó từ năm 1707. Rồi Maupertuis, đã tái khám phá và đặt tên cho nó vào năm 1746, là người đã viết:

Trang 137

> Lorsqu'il arrive quelque changement dans la Nature, la quantité d'action



nécessaire pour ce changement est la plus petite qu'il soit possible.*

Samuel König, khoa học gia đầu tiên đã phát biểu công khai và đúng đắn, vào năm 1751, rằng nguyên lý này bắt nguồn từ Leibniz, chứ không phải Maupertuis, đã bị loại ra khỏi Viện hàn lâm khoa học Phổ vì đã nói như vậy. Đó là do sự vận động ngầm của Maupertuis, lúc đó là viện trưởng viện hàn lâm. Sự vận động này cũng bảo đảm cho thuật ngữ kỳ quái 'tác dụng' được sử dụng tiếp. Dù câu chuyện không đẹp này đã xảy ra, nguyên lý Leibniz đã trở nên thời thượng, được Euler, Lagrange và sau cùng là Hamilton sử dụng và phổ biến.

* *

Ý tưởng cơ bản của nguyên lý tác dụng cực tiểu, thiên nhiên *lười* hết mức, còn được gọi là *lex parismoniae*. Ý tưởng tổng quát này là của Ptolemy và sau đó là Fermat, Malebranche và 's Gravesande. Nhưng Leibniz là người đầu tiên hiểu giá trị và sự hữu dụng về mặt toán học của nó đối với sự mô tả *mọi* chuyển động.

* *

Khi Lagrange phát hành quyển *Mécanique analytique*, của ông vào năm 1788, nó đã tạo nên một trong những đỉnh cao trong lịch sử Cơ học và đã xác lập công dụng của phép tính biến phân. Ông đã tự hào là đã trình bày Cơ học một cách có hệ thống mà không cần một hình ảnh nào. Điều hiển nhiên là quyển sách này khó đọc và bán rất ế. Do đó phương pháp của ông phải mất nhiều thời gian để được nhiều người sử dụng.

* *

Nếu lấy tác dụng làm đại lượng cơ bản để mô tả chuyển động, ta có thể định nghĩa năng lượng như tác dụng trong một đơn vị thời gian và động lượng như tác dụng trong mỗi đơn vị chiều dài. Như vậy *năng lượng* của một hệ mô tả nó biến đổi bao nhiêu theo thời gian và *động lượng* mô tả nó biến đổi bao nhiêu theo khoảng cách. Còn moment động
Câu đố 462 s lượng và năng lượng quay?

* *

Trong Vật lý Galilei, Lagrangian là hiệu động năng và thế năng. Sau đó, định nghĩa được tổng quát hoá để ta có thể hiểu sâu nét đặc biệt này: Lagrangian trở thành hiệu giữa một số hạng cho các hạt tự do và một số hạng bắt nguồn từ sự tương tác. Nói cách khác, mỗi chuyển động của hạt là một thoả hiệp liên tục giữa những gì mà hạt sẽ làm nếu nó tự do và những gì mà các hạt khác muốn nó làm. Về phương diện này, hạt hành xử khá giống với con người.

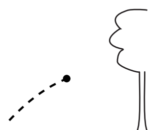
* *

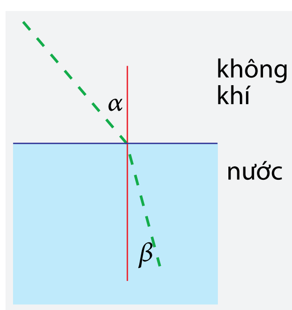
'Trong thiên nhiên, viễn truyền động hay cầu nguyện không có tác dụng, vì trong phần lớn các trường hợp, biến đổi trong não nhỏ hơn biến đổi mà ta đòi hỏi ở thế giới bên
Câu đố 463 s ngoài rất nhiều.' Lập luận này có đúng không?

* *

Người ta đo tác dụng bằng cách nào? Dụng cụ hay phương pháp tốt nhất để đo tác dụng

* 'Khi có sự biến đổi xảy ra trong thiên nhiên, lượng tác dụng cần thiết cho sự biến đổi này là nhỏ nhất.'





HÌNH 197 Sự khúc xạ ánh sáng bắt nguồn từ sự tối ưu thời gian di chuyển.

Câu đố 464 ny là gì?

* *

Câu đố 465 s Giải thích: tại sao $T + U$ không đổi trong khi $T - U$ thì cực tiểu?

* *

Trong thiên nhiên, tổng $T + U$ của động năng và thế năng thì *không đổi* trong chuyển động (đối với hệ kín), trong khi tác dụng thì *cực tiểu*. Ta có thể suy ra bằng cách kết hợp Câu đố 466 s 2 sự kiện này rằng hệ có khuynh hướng dẫn tới trạng thái thế năng cực tiểu hay không?

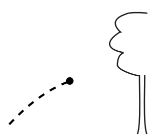
* *

Người ta có thể sử dụng một nguyên lý cực tiểu hoá khác để tìm hiểu kết cấu của cơ thể Xem 206 động vật, đặc biệt là kích thước của chúng và tỷ lệ các cấu trúc bên trong của chúng. Thí dụ như nhịp tim và tần số hô hấp thay đổi theo $m^{-1/4}$ và công suất tiêu tán thay đổi theo $m^{3/4}$. Hoá ra các số mũ đó là kết quả của 3 tính chất của sinh vật. Đầu tiên, chúng vận chuyển năng lượng và vật liệu xuyên qua các cơ quan thông qua mạng các mạch máu phân nhánh: ít ở vật lớn và tăng lên ở vật nhỏ hơn. Thứ hai, các mạch máu có cùng kích thước cực tiểu. Thứ 3, các mạng này được tối ưu hoá để cực tiểu hoá năng lượng dùng để vận chuyển. Ba mối liên hệ này giải thích thêm nhiều quy luật về kích cỡ; chúng cũng có thể giải thích lý do tại sao tuổi thọ động vật lại tỷ lệ với $m^{-1/4}$, hay tại sao phần lớn Trang 126 động vật hữu nhũ gần như có cùng số nhịp tim trong cả cuộc đời.

Một giải thích hợp lý khác sử dụng một nguyên lý cực tiểu khác phát biểu rằng 1/4 công suất phát sinh trong các mạng lưới được tạo dựng sao cho dòng đến nơi bằng con Xem 207 đường trực tiếp nhất.

* *

Nguyên lý cực tiểu hoá chuyển động của ánh sáng còn đẹp hơn: ánh sáng luôn đi theo con đường cần thời gian du hành nhỏ nhất. Từ lâu người ta đã biết rằng ý tưởng này mô tả chính xác cách mà ánh sáng đổi hướng khi nó di chuyển từ không khí vào nước và hiệu ứng này được minh hoạ trong Hình 197. Trong nước ánh sáng chuyển động chậm hơn; tỷ số tốc độ ánh sáng giữa không khí và nước được gọi là *chiết suất* của nước. Chiết suất thường viết tắt là n, phụ thuộc vào vật liệu. Giá trị của nước vào khoảng 1.3. Tỷ số này cùng với nguyên lý thời gian cực tiểu, dẫn tới 'định luật' khúc xạ, một mối liên hệ Câu đố 467 s đơn giản giữa sine của 2 góc. Bạn có thể suy ra nó không?



* *

Bạn có thể khẳng định rằng mọi nguyên lý cực tiểu hoá đã đề cập – đối với sự tăng trưởng của cây, hệ thống mạch máu trong động vật, chuyển động của ánh sáng – là các trường hợp đặc biệt của nguyên lý tác dụng cực tiểu không? Đúng ra điều này đúng cho *mọi* nguyên lý cực tiểu hoá đã biết trong thiên nhiên. Mỗi nguyên lý, như nguyên lý tác dụng cực tiểu, là một nguyên lý biến đổi cực tiểu. Câu đố 468 s

* *

Trong Vật lý Galilei, giá trị của tác dụng phụ thuộc tốc độ quan sát viên chứ không phụ thuộc vị trí hay hướng của họ. Nhưng tác dụng khi được định nghĩa đúng sẽ *không* phụ thuộc quan sát viên. Mọi quan sát viên đều đồng ý với biến đổi đã quan sát được. Chỉ có Thuyết tương đối đặc biệt mới thoả mãn yêu cầu tác dụng độc lập với tốc độ quan sát viên. Tác dụng tương đối tính được định nghĩa như thế nào? Câu đố 469 s

* *

Lượng biến đổi được tích luỹ trong vũ trụ từ big bang là bao nhiêu? Việc đo mọi biến đổi diễn ra trong vũ trụ đã giả sử rằng vũ trụ là một hệ vật lý. Có đúng như vậy không? Câu đố 470 s

* *

Một chuyển động trong thiên nhiên đã được cực tiểu hoá hữu hiệu một cách đặc biệt, lại rất quen thuộc với chúng ta: đi bộ. Nhiều nỗ lực nghiên cứu rộng rãi đã cố gắng thiết kế các robot sao chép sự vận hành và điều khiển tiết kiệm năng lượng của chân con người. Để tham khảo có thể xem website của Tao Geng, cswww.essex.ac.uk/tgeng/research.html. Xem 208

* *

Câu đố 471 d Bạn có thể chứng minh công thức tích phân sau đây không?

$$\int_0^{\varphi} \sec t \, dt = \ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \tag{79}$$

* *

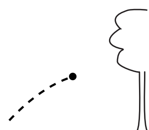
Hình dạng lý tưởng của đường trượt ván là gì? 'Lý tưởng' hàm ý điều gì? Điều kiện nào dẫn tới đường *cycloid*? Điều kiện nào phủ nhận đường *cycloid*? Câu đố 472 s

* *

Trang 126 Như đã đề cập ở trên, cái chết của động vật là một quá trình vật lý và xảy ra khi động vật đã tiêu thụ hay chuyển hoá khoảng 1 GJ/kg. Hãy chứng tỏ rằng tác dụng toàn phần ở kích cỡ của động vật là $M^{5/4}$. Câu đố 473 e

Tóm tắt về tác dụng

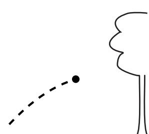
Các hệ chuyển động bằng cách cực tiểu hoá biến đổi. Biến đổi hay tác dụng, là giá trị trung bình theo thời gian của hiệu động năng và thế năng. Mệnh đề 'chuyển động cực tiểu hoá biến đổi' diễn tả tính tiên đoán được và tính liên tục của chuyển động. Mệnh đề này cũng hàm ý rằng mọi chuyển động đều có dạng đơn giản nhất.

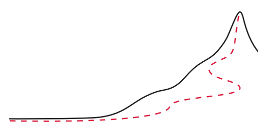


Các hệ chuyển động bằng cách cực tiểu hoá biến đổi. Điều này tương đương với mệnh đề các hệ chuyển động bằng cách cực đại hoá thời gian trôi qua giữa 2 trạng thái. Cả 2 mệnh đề đều chứng tỏ rằng thiên nhiên rất lười.

Các hệ chuyển động bằng cách cực tiểu hoá biến đổi. Trong các chương kế ta sẽ chứng tỏ rằng phát biểu này dẫn đến sự bất biến đối với quan sát viên, sự bảo toàn, sự bất biến gương, tính thuận nghịch và tính tương đối của chuyển động thông thường.







Chương 9

Chuyển động và sự đối xứng

Xem 209

> Am Anfang war die Symmetrie.**
> Werner Heisenberg

Cách thứ hai để mô tả chuyển động một cách tổng quát là mô tả nó theo cách mà *mọi* quan sát viên đều đồng ý. Nếu một hiện tượng *không thay đổi* khi chuyển từ quan sát viên này sang quan sát viên khác, ta nói hiện tượng đó *bất biến* hay có tính *tuyệt đối* hay có tính *đối xứng*. Nếu một hiện tượng *biến đổi* khi chuyển từ quan sát viên này sang quan sát viên khác, ta nói nó có tính *tương đối*. Như vậy để tìm hiểu tính tương đối đồng nghĩa với tìm hiểu tính bất biến và tính đối xứng.

Trang 242

▷ *Đối xứng* là sự bất biến sau khi có biến đổi.

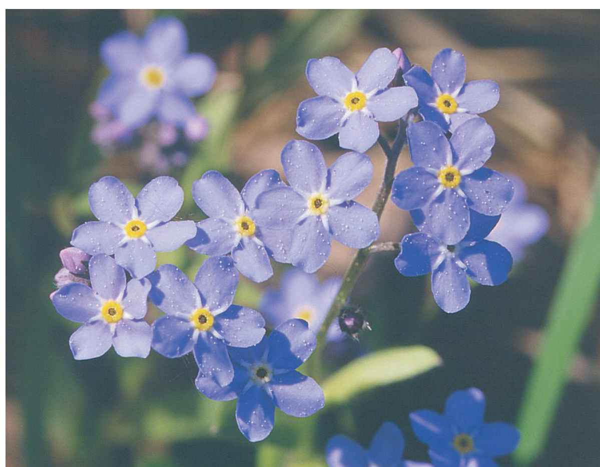
Việc đổi quan sát viên hay đổi điểm quan sát, là một biến đổi như vậy; một khả năng khác có thể là một số thay đổi tác động lên hệ đang được quan sát. Hoa lưu ly như trong Hình 198 có tính đối xứng vì nó giống như trước sau khi ta quay nó 1 vòng hay quay nó đi 72 độ; nhiều loài hoa khác cũng có tính đối xứng như vậy. Người ta cũng nói rằng khi thay đổi điểm quan sát, hoa có *một tính chất bất biến*, cụ thể là hình dạng của nó. Nếu có nhiều quan điểm, ta đang nói về sự đối xứng *cao*, khác đi là đối xứng *thấp*. Thí dụ như hoa clover 4 cánh có tính đối xứng cao hơn hoa 3 cánh thông thường. Trong Vật lý, điểm quan sát thường được gọi là *hệ quy chiếu*.

Khi ta nói về sự đối xứng trong các bông hoa, trong đời sống hằng ngày, trong kiến trúc hay trong nghệ thuật ta thường muốn nói đến đối xứng gương, đối xứng quay hay tổ hợp của chúng. Những phép đối xứng này là *các phép đối xứng hình học*. Giống như mọi phép đối xứng, đối xứng hình học bất biến dưới các thao tác biến đổi đặc biệt. Người ta đã có danh sách đầy đủ các phép đối xứng hình học từ lâu. Bảng 34 cho ta một tổng quan về các loại cơ bản. Hình 199 và Hình 200 cho ta các thí dụ quan trọng. Các phép đối xứng hình học bổ sung bao gồm *đối xứng màu*, trong đó màu sắc bị hoán đổi và *các nhóm spin*, trong đó các đối tượng đối xứng không chỉ chứa các điểm mà còn chứa spin, kèm theo hành trạng đặc biệt của chúng dưới phép quay. Cũng có các tổ hợp với đối xứng tỷ lệ, như trong hệ fractal và các biến đổi trên nền cong, là phần mở rộng của bảng cơ bản.

Xem 210

Câu đố 474 e

** 'Ngay lúc đầu đã có sự đối xứng.' Bạn có đồng ý với phát biểu này không? Nó đã khiến cho nhiều nhà nghiên cứu lạc lối trong việc tìm kiếm sự thống nhất của Vật lý. Có lẽ Heisenberg muốn nói rằng vào lúc ban đầu đã có *sự đơn giản*. Tuy vậy, có nhiều sự khác biệt về mặt khái niệm và toán học giữa sự đối xứng và sự đơn giản.



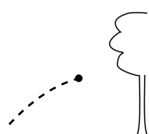
HÌNH 198 Hoa lưu ly, còn gọi là Myosotis (Boraginaceae), có đối xứng bậc 5 (© Markku Savela).

BẢNG 34 Phân loại và số các phép đối xứng hình học đơn giản.

Số chiều	Kiểu lặp	Sự tịnh tiến			
		0 nhóm điểm	1 nhóm đường	2 nhóm mặt	3 nhóm không gian
1	1 hàng	2	2	không có	không có
2	5 kiểu mạng lưới hay phẳng (vuông, nghiêng, lục giác, chữ nhật, nhật tâm)	2 (vòng, nhị diện) hay nhóm 10 rosette (C_1, C_2, C_3, C_4, C_6, D_1, D_2, D_3, D_4, D_6)	7 đường diềm	17 giấy dán tường	không có
3	14 mạng (Bravais)(3 lập phương, 2 tứ giác, 4 trực thoi, 1 lục giác, 1 tam giác, 2 đơn tà, 1 tam tà)	32 nhóm tinh thể, còn gọi là nhóm điểm tinh thể	75 thanh	80 lớp	230 cấu trúc tinh thể, còn gọi là nhóm không gian, nhóm Fedorov hay nhóm tinh thể

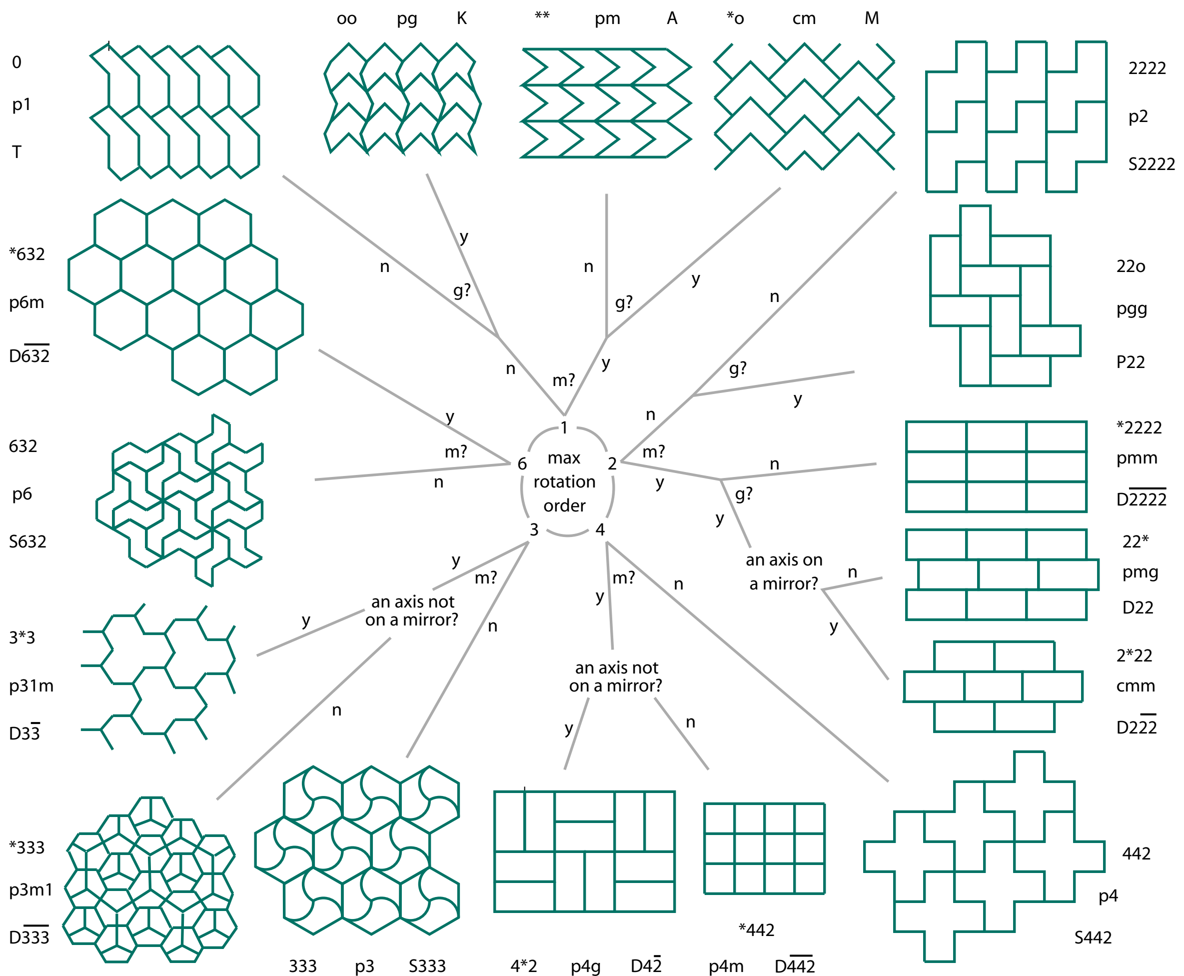
Một sự đối xứng *cao* có nghĩa là có *nhiều* biến đổi mà hiện tượng vẫn bất biến. Đầu tiên ta nhận thấy không có nhiều vật hay hiện tượng trong thiên nhiên có tính đối xứng: xét cho cùng, trong thiên nhiên quanh ta, đối xứng hình học là các ngoại lệ hơn là quy luật. Nhưng đây là một sự sai lầm. Ngược lại, ta có thể suy ra rằng toàn bộ thiên nhiên có tính đối xứng từ những sự kiện đơn giản mà ta có thể kể về nó! Hơn nữa sự đối xứng của thiên nhiên thì cao hơn sự đối xứng của hoa lưu ly hay các đối xứng trong Bảng 34 rất nhiều. Một trong những hệ quả của tính đối xứng cao này là biểu thức nổi tiếng

Câu đố 475 s

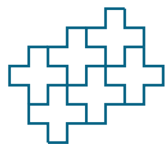


The 17 wallpaper patterns and a way to identify them quickly.

Is the maximum rotation order 1, 2, 3, 4 or 6?
Is there a mirror (m)? Is there an indecomposable glide reflection (g)?
Is there a rotation axis on a mirror? Is there a rotation axis not on a mirror?



Every pattern is identified according to three systems of notation:

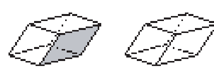


442 The Conway-Thurston notation.
p4 The International Union of Crystallography notation.
S442 The Montesinos notation, as in his book "Classical Tesselations and Three Manifolds"

HÌNH 199 Danh sách đầy đủ các kiểu đối xứng của các mẫu giấy dán tường, thường được gọi là nhóm giấy dán tường, tên thông dụng của chúng và cách phân biệt chúng (© Dror Bar-Natan).

Hệ tinh thể — Lớp/Nhóm tinh thể

Hệ tam tà
(3 trục không trực giao)



C_1 C_i

Hệ đơn tà
(2 trục trực giao)



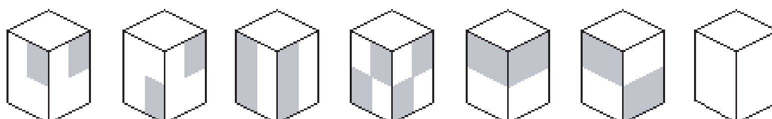
C_2 C_s or C_{1h} C_{2h}

Hệ trực thoi
(3 trục trực giao không bằng nhau)



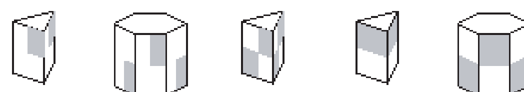
D_2 C_{2v} D_{2h}

Hệ tứ giác
(3 trục trực giao, 2 trục bằng nhau)



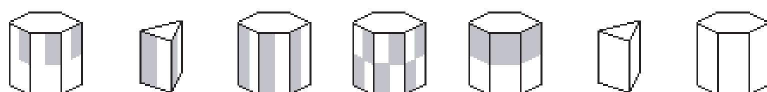
C_4 S_4 C_{4h} D_4 C_{4v} D_{2d} D_{4h}

Hệ tam giác
(3 trục lệch 120 độ, trục thứ 4 vuông góc có đối xứng bậc 3)



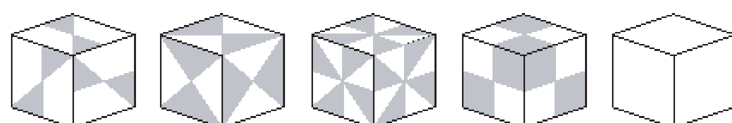
C_3 S_6 D_3 C_{3v} D_{3d}

Hệ lục giác
(3 trục lệch 120 độ, trục thứ 4 vuông góc có đối xứng bậc 6)



C_6 C_{3h} C_{6h} D_6 C_{6v} D_{3h} D_{6h}

Hệ lập phương/ đẳng cự
(3 trục bằng nhau, trực giao)



T T_h O T_d O_h

HÌNH 200 Danh sách đầy đủ của các đối xứng khả hữu của các ô mạng đơn vị trong tinh thể, các nhóm điểm tinh thể học/ nhóm tinh thể/ lớp tinh thể (© Jonathan Goss, after Neil Ashcroft and David Mermin).

$E_0 = c^2 m.$

Tại sao ta có thể suy nghĩ và nói về thế giới?

Xem 211

> Sự hài hoà ẩn giấu còn mạnh hơn khi biểu hiện.
> Heraclitus of Ephesus, about 500 BCE

Tại sao ta có thể hiểu được người khác khi người đó nói về thế giới mặc dù ta không phải là người đó? Ta hiểu được vì 2 lý do: phần lớn sự vật nhìn từ các quan điểm khác nhau thì *giống nhau* và vì phần lớn chúng ta đã có kinh nghiệm tương tự *từ trước đó*.

'Tương tự' có nghĩa là những gì *chúng ta* thấy và những gì *người khác* thấy ít nhiều gì đó tương ứng với nhau. Nói cách khác, nhiều mặt của hiện tượng không phụ thuộc vào điểm quan sát. Thí dụ như số cánh hoa có cùng giá trị đối với mọi người. Do đó ta có thể nói rằng đại lượng này có tính đối xứng cao nhất. Sau đây ta sẽ thấy khối lượng cũng là một thí dụ khác. Các biến động lực có tính đối xứng cao nhất được gọi là *các đại lượng vô hướng* trong Vật lý. Các phương diện khác có thay đổi từ quan sát viên này sang quan sát viên khác. Thí dụ như kích thước biểu kiến thay đổi theo khoảng cách quan sát. Tuy vậy kích thước thật thì độc lập với quan sát viên. Một cách tổng quát,

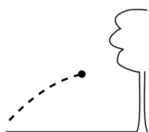
▷ Một kiểu loại bất kỳ có *tính độc lập đối với điểm quan sát* là một dạng đối xứng.

Hiện tượng hai người cùng nhìn một vật từ các điểm quan sát khác nhau mà có thể hiểu nhau chứng tỏ rằng thiên nhiên có tính đối xứng. Ta sẽ bắt đầu tìm hiểu kỹ tính đối xứng ở đây và trong phần còn lại của cuộc hành trình.

Trong thế giới chung quanh ta cũng nhận ra các tính chất tổng quát khác: không những cùng một hiện tượng trông giống nhau đối với các quan sát viên khác nhau mà còn có các hiện tượng *khác nhau* trông giống nhau với *cùng* một quan sát viên. Thí dụ như ta đã biết rằng nếu lửa làm phỏng tay trong bếp thì ra ngoài trời, đến nơi khác hay lúc khác thì điều đó cũng như vậy. Thiên nhiên bộc lộ *tính tái hiện*. Thiên nhiên không có tính bất ngờ. Đúng ra ta có ký ức và tư duy chính là nhờ tính chất cơ bản này của thiên nhiên. (Bạn có thể chứng minh điều này không?) Như ta sẽ thấy, tính tái hiện đã thêm các ràng buộc khắt khe lên việc mô tả thiên nhiên.

Câu đố 476 s

Không có tính độc lập với điểm quan sát và tính tái hiện, ta không thể nói chuyện với người khác hay chính mình. Và quan trọng hơn, ta sẽ khám phá ra rằng hai tính chất chất này còn làm nhiều hơn là xác định khả năng nói với người khác: chúng cũng ấn định nhiều (nhưng không phải là tất cả) *nội dung* mà ta có thể nói với nhau. Nói cách khác, ta sẽ thấy rằng phần lớn sự mô tả thiên nhiên của chúng ta đều được suy ra một cách hợp lý, gần như không có sự lựa chọn, từ những sự kiện đơn giản mà ta có thể nói về thiên nhiên với bạn của chúng ta.



Quan điểm

> Toleranz ... ist der Verdacht der andere könnte Recht haben.*
>
> Kurt Tucholsky (b. 1890 Berlin, d. 1935 Göteborg), nhà văn Đức

> Toleranz – eine Stärke, die man vor allem dem politischen Gegner wünscht.**
>
> Wolfram Weidner (b. 1925) nhà báo Đức

Khi một thiếu niên bắt đầu gặp người khác lúc ấu thời, cậu ta nhanh chóng khám phá ra rằng kinh nghiệm có thể sẻ chia, trong khi những điều khác như giấc mơ thì không được. Học cách phân biệt điều này là một trong những cuộc thám hiểm của đời người. Trong phần này ta tập trung vào loại kinh nghiệm đầu tiên: các hiện tượng vật lý. Trong đời sống hằng ngày ta thường giả sử rằng khối lượng, thể tích, chiều dài và thời gian độc lập với quan sát viên. Ta có thể nói về các đại lượng quan sát được này với người khác và không có sự bất đồng về giá trị của chúng miễn là chúng được đo chính xác. Tuy vậy, các đại lượng khác lại phụ thuộc quan sát viên. Hãy tưởng tượng là ta đang nói với một người bạn sau khi anh ta đã nhảy từ một cành cây bên đường, trong khi anh ta vẫn đang rơi xuống. Anh ta sẽ nói rằng mặt đất tiến gần anh ta với tốc độ cao trong khi người bên dưới vẫn cho rằng mặt đất đứng yên. Sự khác biệt này hiển nhiên là do điểm quan sát của họ khác nhau. Như vậy tốc độ của một vật (trong thí dụ này) có tính đối xứng ít hơn trọng lượng hay kích thước. Không phải mọi quan sát viên đều đồng ý với giá trị cũng như hướng của vận tốc.

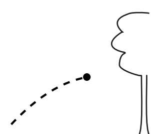
Trong trường hợp các hiện tượng phụ thuộc quan điểm, ta vẫn có thể hiểu nhau nếu chịu khó một chút: mỗi quan sát viên có thể *tưởng tượng* đang quan sát từ vị trí của người kia và *kiểm tra xem* kết quả tưởng tượng có phù hợp với phát biểu của người kia không.*** Như vậy nếu phát biểu tưởng tượng và thực của các quan sát viên phù hợp với nhau, các quan sát là nhất quán và sự khác nhau trong các phát biểu chỉ do khác quan điểm; ngoài ra sự khác nhau là cơ bản và chúng không thể đồng ý hay nói ra. Sử dụng cách tiếp cận này, bạn có thể bàn luận xem cảm giác, sự phán đoán hay khẩu vị của con
Câu đố 477 s
người có nảy sinh từ những điều khác nhau cơ bản hay không.

Sự phân biệt giữa các đại lượng độc lập với quan điểm – hay bất biến – và phụ thuộc quan điểm – hay tương đối – là vấn đề chủ yếu. Các đại lượng bất biến, như khối lượng hay hình dạng, mô tả các tính chất *nội tại* và các đại lượng tương đối phụ thuộc quan sát viên, tạo nên *trạng thái* của hệ. Do đó để tìm được một mô tả *đầy đủ* về trạng thái của một hệ vật lý ta phải trả lời những câu hỏi sau:

— Quan điểm nào là khả hữu?
— Sự mô tả đã biến đổi quan điểm này sang quan điểm khác như thế nào?
— Các đối xứng này đã kết nạp những biến động lực nào?
— Các kết quả này cho ta biết điều gì về chuyển động?

---

* 'Sự chấp nhận ... là sự nghi ngờ rằng người khác có thể đúng.'
** 'Sự chấp nhận – sức mạnh mà người ta chỉ mong ước là đối thủ chính trị của mình có được.'
*** Con người đã phát triển khả năng tưởng tượng rằng người khác có thể ở trong những tình huống *khác với* họ vào khoảng tuổi lên 4. Do đó, trước khi đến tuổi đó, con người không thể hiểu được Thuyết tương đối đặc biệt; sau đó thì họ có thể hiểu.
Xem 212



Cho tới lúc này, trong cuộc tìm hiểu về chuyển động, trước tiên ta đã nghiên cứu các quan điểm thay đổi theo vị trí, hướng, thời gian và quan trọng nhất là chuyển động. Các quan sát viên có thể đứng yên, quay, chuyển động đều hay có gia tốc đối với nhau. Những thay đổi quan điểm 'cụ thể' này là điều ta nghiên cứu đầu tiên. Trong trường hợp này yêu cầu về sự nhất quán của các quan sát do các quan sát viên khác nhau thực hiện, được gọi là *nguyên lý tương đối*. Những phép đối xứng liên kết với loại bất biến này cũng được gọi là phép *ngoại* đối xứng. Chúng được liệt kê trong Bảng 36.

Trang 157
Trang 282

Lớp biến đổi quan điểm cơ bản thứ 2 liên quan tới các biến đổi 'trừu tượng'. Các quan điểm có thể khác nhau do sự mô tả toán học được sử dụng: những biến đổi đó được gọi là *biến đổi chuẩn*. Chúng sẽ được giới thiệu trong phần Điện động lực học. Ta cũng cần các phát biểu phải nhất quán đối với các mô tả toán học khác nhau. Điều kiện nhất quán này được gọi là *nguyên lý bất biến chuẩn*. Các phép đối xứng liên kết với nó được gọi là phép *nội* đối xứng.

Quyển III, trang 86

Lớp biến đổi thứ 3, mà sự quan trọng của nó không thể hiện rõ rệt trong đời sống hằng ngày, là sự biến đổi hành trạng của một hệ dưới sự trao đổi các phần của nó. Bất biến liên kết với nó được gọi là *phép đối xứng hoán vị*. Nó là một phép đối xứng *rời rạc* và ta sẽ xem nó như một nguyên lý cơ bản khi tìm hiểu Thuyết lượng tử.

Quyển IV, trang 113

Ba yêu cầu nhất quán vừa mô tả được gọi là 'các nguyên lý' vì những phát biểu cơ bản này mạnh đến nỗi gần như chúng xác định hoàn toàn các 'định luật' của Vật lý – tức là sự mô tả chuyển động – như ta sẽ thấy sau đây. Tiếp đến ta sẽ khám phá ra rằng việc tìm kiếm một mô tả đầy đủ *trạng thái của vật* cũng sẽ tạo nên một mô tả đầy đủ *các tính chất nội tại* của chúng. Nhưng giới thiệu như vậy cũng đủ rồi: ta hãy tiến vào vùng trọng tâm của chủ đề.

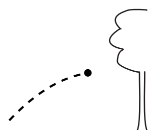
Phép đối xứng và nhóm

Vì ta đang tìm cách mô tả chuyển động cho đầy đủ, ta cần tìm hiểu và mô tả *tập hợp đầy đủ của các phép đối xứng* trong thiên nhiên. Nhưng phép đối xứng là gì?

Một hệ thống được nói là *đối xứng* hay có *tính đối xứng* nếu nó xuất hiện giống nhau khi được quan sát dưới các điểm quan sát khác nhau. Ta cũng nói rằng hệ có *tính bất biến* khi thay đổi từ quan điểm này sang quan điểm khác. Sự thay đổi quan điểm tương đương với *các phép toán đối xứng* hay *các phép biến đổi đối xứng* của một hệ. Như vậy phép đối xứng là một tập hợp các phép biến đổi không làm cho hệ thay đổi. Tuy vậy, một phép đối xứng thì nhiều hơn một tập hợp: việc áp dụng 2 phép toán đối xứng liên tiếp là một phép đối xứng khác. Nói cách khác, phép đối xứng là một tập hợp $G = \{a, b, c, ...\}$ gồm có các phần tử, các phép biến đổi, cùng với một phép toán nhị nguyên $\circ$ được gọi là *phép ghép nối* hay *phép nhân* và được đọc là 'với' hay 'nhân', trong đó các tính chất sau được nghiệm đúng cho mọi phần tử a, b và c:

$$\begin{aligned} &\textit{tính kết hợp}, \text{ tức là} && (a \circ b) \circ c = a \circ (b \circ c) \\ &\text{có một } \textit{phần tử trung tính } e \text{ sao cho} && e \circ a = a \circ e = a \\ &\text{có một } \textit{phần tử nghịch đảo } a^{-1} \text{ sao cho} && a^{-1} \circ a = a \circ a^{-1} = e \quad . \end{aligned} \tag{80}$$

Một tập hợp bất kỳ thoả mãn 3 tính chất định nghĩa hay tiên đề này đều được gọi là *nhóm (toán học)*. Về mặt lịch sử, khái niệm nhóm là thí dụ đầu tiên một cấu trúc toán





HÌNH 201 Một bông hoa Crassula ovata cho thấy ba nhóm bội bậc 5: cánh hoa, nhị hoa và nhuỵ hoa (© J.J. Harrison)

học được định nghĩa theo một cách hoàn toàn trừu tượng. * Bạn có thể cho một thí dụ
Câu đố 478 s về nhóm lấy từ đời sống hằng ngày không? Nhóm thường xuất hiện trong Vật lý và Toán
Xem 213 học vì sự đối xứng hầu như có ở khắp nơi như ta sẽ thấy.** Bạn có thể liệt kê các phép
Câu đố 480 s đối xứng của kiểu thức trong Hình 202 không?

Nhóm bội

Khi nhìn một hệ đối xứng và phức hợp như các hệ trong Hình 201 hay trong Hình 202,
Câu đố 481 e ta nhận thấy rằng mỗi phần của nó, thí dụ như các mảng màu đỏ, thuộc về một tập hợp các vật giống nhau được gọi là một *nhóm bội*.

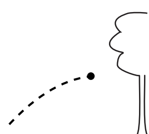
▷ Mỗi phần hay thành phần của một hệ đối xứng có thể được phân lớp theo

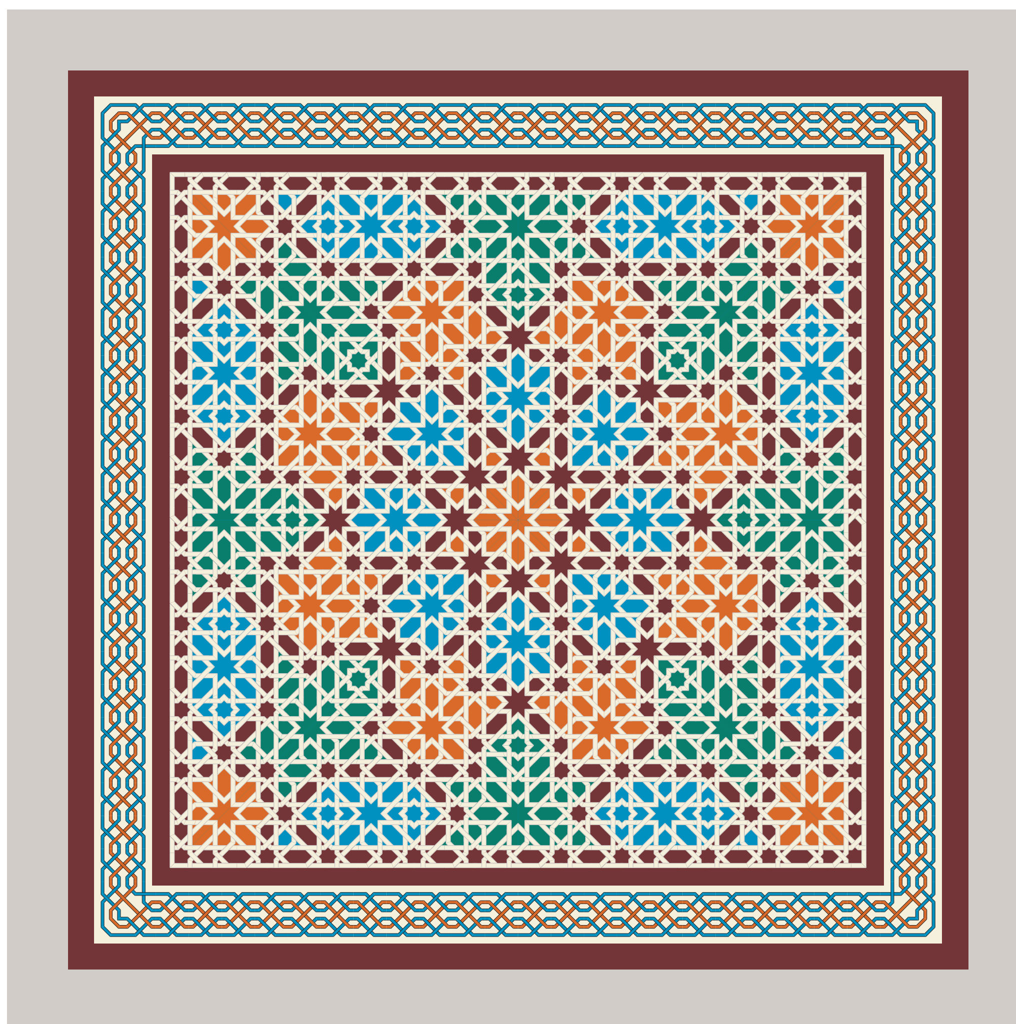
* Thuật ngữ 'nhóm' bắt nguồn từ Evariste Galois (b. 1811 Bourg-la-Reine, d. 1832 Paris), cấu trúc của nó xuất phát từ Augustin-Louis Cauchy (b. 1789 Paris, d. 1857 Sceaux) và định nghĩa theo lối tiên đề là do Arthur Cayley (b. 1821 Richmond upon Thames, d. 1895 Cambridge).

** Về mặt nguyên tắc, các nhóm toán học không nhất thiết phải là nhóm đối xứng; nhưng người ta có thể chứng minh được rằng mọi nhóm đều có thể được xem như là nhóm các phép biến đổi trên một số không gian toán học được định nghĩa một cách thích hợp, vì vậy trong Toán học ta có thể sử dụng 2 thuật ngữ 'nhóm đối xứng' và 'nhóm' hoán đổi cho nhau.

Một nhóm được gọi là *nhóm Abel* nếu phép nhân của nó có tính giao hoán tức là $a \circ b = b \circ a$ đối với mọi cặp phần tử a và b. Trong trường hợp này, có đôi khi phép toán được gọi là *phép cộng*. Chuyển động
Câu đố 479 e quay có tạo thành một nhóm Abel hay không?

Một tập hợp con $G_1 \subset G$ của nhóm G có thể là một nhóm; người ta gọi nó là *nhóm con* và thường nói một cách tuỳ tiện là G *lớn hơn* G_1 hay G là một nhóm có tính đối xứng *cao hơn* G_1.





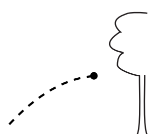
HÌNH 202 Hoa văn Tây ban nha–Arab trong dinh thị trưởng thành phố Sevilla (© Christoph Schiller).

loại của nhóm bội chứa nó.

Đối với một số mảng màu trong Hình 202 ta cần *4* đối tượng để tạo thành một nhóm bội đầy đủ, trong khi các mảng khác cần *2* hay chỉ *1*, như trong trường hợp ngôi sao trung tâm. Nói chung, mỗi nhóm bội có (tối thiểu) những tính chất đối xứng của cả hệ.

Do đó ta có 2 thách thức phải vượt qua. Đầu tiên, ta cần tìm ra tất cả các phép đối xứng trong thiên nhiên. Thứ hai, trong suốt cuộc hành trình, ta cần xác định nhóm bội đầy đủ của các phần trong thiên nhiên mà ta quan sát được. Quan trọng nhất là ta cần xác định các nhóm bội cho các phần nhỏ nhất tìm thấy trong thiên nhiên, các hạt sơ cấp.

▷ *Nhóm bội* là tập hợp các phần hay các thành phần biến đổi thành những phần khác và ngược lại dưới mọi phép đối xứng.



Các biểu diễn

Các toán gia thường gọi các nhóm bội trừu tượng là *các biểu diễn*. Ta mô tả phương thức để thành phần thuộc về một hệ bằng cách xác định nhóm bội/biểu diễn chứa nó. Ta hãy xem xét cách hoàn thành sự phân loại này.

Trong ngôn ngữ toán học, các phép đối xứng thường được mô tả bằng matrix. Thí dụ như trong mặt phẳng, phép đối xứng qua đường chéo thứ nhất được biểu diễn bằng matrix

$$D(\text{refl}) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} , \qquad (81)$$

Câu đố 482 e
vì mỗi điểm (x, y) được biến đổi thành (y, x) khi nhân với matrix $D(\text{refl})$. Do đó, đối với một toán gia, một *biểu diễn* của nhóm đối xứng G là một phép gán của matrix $D(a)$ cho mỗi phần tử a của nhóm sao cho biểu diễn của phép ghép nối hai phần tử a và b là tích của các biểu diễn D của các phần tử này:

$$D(a \circ b) = D(a)D(b) . \qquad (82)$$

Matrix của phương trình (81), cùng với các matrix đối với mọi phép đối xứng khác, đều có tính chất này.*

Đối với mỗi nhóm đối xứng, việc xây dựng và phân loại mọi biểu diễn khả hữu là một việc quan trọng. Nó tương ứng với việc phân loại mọi nhóm bội khả hữu cấu thành một hệ đối xứng. Do đó, nếu ta hiểu cách phân loại của mọi nhóm bội và các phần có thể xuất hiện trong Hình 202, ta cũng sẽ hiểu cách phân loại mọi phần khả hữu cấu thành một vật hay một chuyển động!

Một biểu diễn D được gọi là *đơn nguyên* nếu mọi matrix $D(a)$ là đơn nguyên.** Mọi biểu diễn xuất hiện trong vật lý, với một số ngoại lệ, đều là đơn nguyên: thuật ngữ này

* Có một số điều kiện phụ hiển nhiên nhưng quan trọng đối với một biểu diễn: các matrix $D(a)$ phải có tính khả nghịch hay không kỳ dị và toán tử đồng nhất của G phải được ánh xạ vào matrix đơn vị. Trong một ngôn ngữ cô đọng hơn ta nói rằng một biểu diễn là một *phép đồng cấu* từ G vào nhóm matrix không kỳ dị hay khả nghịch. Một matrix D khả nghịch nếu định thức det D khác 0.

Nhìn chung, nếu một ánh xạ f từ nhóm G tới nhóm G' khác thoả điều kiện

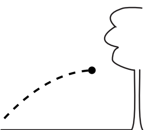
$$f(a \circ_G b) = f(a) \circ_{G'} f(b) , \qquad (83)$$

thì ánh xạ f được gọi là một *phép đồng cấu*. Một phép đồng cấu f 1-1 (đơn ánh) và trên (toàn ánh) được gọi là *phép đẳng cấu*. Nếu một biểu diễn cũng là đơn ánh, nó được gọi là *trung thành*, *đúng* hay *chân chính*.

Tương tự như nhóm, các cấu trúc toán học phức tạp hơn như vành, trường và đại số kết hợp cũng có thể được biểu diễn bằng các lớp matrix thích hợp. Một biểu diễn của trường số phức sẽ được cho ở phần sau.

Quyển IV, trang 224
** *Chuyển vị* A^T của matrix A được xác định từng phần tử theo công thức $(A^T)_{ik} = A_{ki}$. *Liên hợp phức* A^* của một matrix A được xác định theo công thức $(A^*)_{ik} = (A_{ik})^*$. *Liên hợp* $A^\dagger$ của một matrix A được xác định theo công thức $A^\dagger = (A^T)^*$. Một matrix được gọi là *đối xứng* nếu $A^T = A$, *trực giao* nếu $A^T = A^{-1}$, *Hermite* hay *tự liên hợp* (Cả hai đều đồng nghĩa trong các ứng dụng vật lý) nếu $A^\dagger = A$ (matrix Hermite có các trị riêng thực) và *đơn nguyên* nếu $A^\dagger = A^{-1}$. Các matrix đơn nguyên có các trị riêng có chuẩn bằng 1. Phép nhân với matrix đơn nguyên là một đơn ánh; vì sự tiến hoá theo thời gian của các hệ vật lý là một ánh xạ từ thời điểm này sang thời điểm khác nên sự tiến hoá luôn luôn được mô tả bằng một matrix đơn nguyên.

Một matrix *phản đối xứng* hay *đối xứng lệch* được xác định theo công thức $A^T = -A$, matrix *phản-Hermite* thì theo công thức $A^\dagger = -A$ và một matrix *phản đơn nguyên* thì theo công thức $A^\dagger = -A^{-1}$. Mọi



có tính hạn chế nhất, vì nó xác định rằng các phép biến đổi tương ứng là đơn ánh và khả nghịch, có nghĩa là một quan sát viên không bao giờ thấy nhiều hay ít hơn các quan sát viên khác. Dĩ nhiên là nếu một quan sát viên có thể nói với người thứ hai thì người thứ hai cũng có thể nói với người thứ nhất. Tính đơn nguyên là một tính chất tự nhiên của một biểu diễn trong các hệ của thiên nhiên.

Tính chất quan trọng sau cùng của một nhóm bội, hay biểu diễn, có liên quan tới cấu trúc của nó. Nếu một nhóm có thể xem như được cấu tạo từ các nhóm bội con, thì nó *khả quy*, khác đi thì *bất khả quy*; Các biểu diễn thì cũng tương tự. Biểu diễn bất khả quy thì dĩ nhiên là không thể phân tích thêm nữa. Thí dụ như nhóm đối xứng (gần như hoàn hảo) trong Hình 202, thường được gọi là D_4, có 8 phần tử. Nó có một biểu diễn matrix
Câu đố 483 e trung thành, đơn nguyên và bất khả quy

$$\begin{pmatrix} \cos n\pi/2 & -\sin n\pi/2 \\ \sin n\pi/2 & \cos n\pi/2 \end{pmatrix} \; n = 0..3, \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}. \tag{84}$$

Biểu diễn này là một *bộ 8*. Danh sách đầy đủ của các biểu diễn bất khả quy của nhóm
Câu đố 484 e D_4 cũng bao gồm các *bộ đơn*, *bộ đôi* và *bộ 4*. Bạn có thể tìm ra chúng không? Các biểu diễn này cho phép ta phân loại tất cả các dải trắng và đen trong hình cũng như tất cả các mảng màu. Phần tử đối xứng cao nhất là bộ đơn, thấp nhất là các thành viên của bộ 4. Hệ đầy đủ cũng luôn luôn là một bộ đơn.

Với các khái niệm này bây giờ ta đã sẵn sàng diễn tả chính xác hơn về chuyển động và các hệ chuyển động.

Sự đối xứng và ngữ vựng của chuyển động

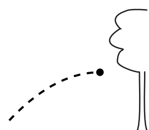
Hằng ngày ta đều có thể trải nghiệm việc có khả năng nói với nhau về chuyển động. Do đó ta phải tìm ra được một đại lượng *bất biến* để mô tả nó. Ta cũng đã biết nó là *tác dụng*, số đo biến đổi. Thí dụ như đốt một que diêm là một biến đổi. Độ lớn của biến đổi thì giống nhau dù que diêm được đốt ở đâu, theo hướng nào, hôm nay hay ngày mai. Thật vậy, tác dụng (Galilei) là một số có giá trị giống nhau đối với mọi quan sát viên *đứng yên*, độc lập với hướng của người đó hay thời điểm quan sát.

Trong trường hợp kiểu thức Arab trong Hình 202, sự đối xứng cho phép ta suy ra danh sách các nhóm bội, hay biểu diễn, là các khối xây dựng của nó. Cách tiếp cận này cũng phải áp dụng được cho các hệ chuyển động. Bảng 35 cho ta thấy điều đó. Trong trường hợp kiểu thức Arab, từ các quan điểm khả hữu khác nhau, ta suy ra cách phân loại các dải thành bộ đơn, bộ đôi, v.v... Đối với một hệ chuyển động, các khối xây dựng, tương ứng với các dải, là các *biến động lực (vật lý)*. Vì ta đã thấy thiên nhiên có tính đối xứng dưới nhiều quan điểm khác nhau nên ta có thể phân loại mọi biến động lực. Để làm như vậy, trước hết ta cần lấy danh sách mọi phép biến đổi điểm quan sát và suy ra danh sách của mọi biểu diễn của chúng.

Cuộc sống thông thường của chúng ta chứng tỏ rằng thế giới vẫn không thay đổi sau các biến đổi về vị trí, hướng và thời điểm quan sát. Ta cũng nói về tính bất biến tĩnh tiến không gian, tính bất biến của phép quay và tính bất biến tĩnh tiến thời gian. Những phép biến đổi này khác với các phép biến đổi trong kiểu thức Arab về 2 phương diện: chúng

ánh xạ tương ứng đều là đơn ánh.

Một matrix *kỳ dị* và phép biến đổi vector tương ứng không phải là đơn ánh nếu det $A = 0$.



BẢNG 35 Sự tương ứng giữa sự đối xứng của hoa văn, hoa và chuyển động.

Hệ	Kiểu thức Tây ban nha–Arab	Hoa	Chuyển động
Cấu trúc và thành phần	tập hợp các dải và các mảng	tập hợp cánh hoa, nhị hoa	quỹ đạo và các biến động lực
Đối xứng của hệ	đối xứng của kiểu thức	đối xứng của hoa	đối xứng của Lagrangian
Mô tả toán học của nhóm đối xứng	D_4	C_5	trong tính tương đối Galilei: vị trí, hướng, thời điểm và biến thiên vận tốc
Các bất biến	số phần tử của nhóm bội	số cánh hoa	số toạ độ, độ lớn của số vô hướng, vector và tensor
Biểu diễn của các thành phần	loại phần tử của nhóm bội	loại thành phần của nhóm bội	tensor bao gồm số vô hướng và vector
Biểu diễn có đối xứng cao nhất	bộ đơn	phần có đối xứng tròn	số vô hướng
Biểu diển trung thành đơn giản nhất	bộ 4	bộ 5	vector
Biểu diễn có đối xứng thấp nhất	bộ 4	bộ 5	không giới hạn (tensor có hạng vô hạn)

liên tục và *không bị giới nội*. Kết quả, các biểu diễn của chúng thường biến thiên liên tục và không bị giới nội: chúng sẽ là *các đại lượng* hay *độ lớn*. Nói cách khác,

▷ Vì tính liên tục của quan sát thay đổi, các biến động lực phải được xây dựng bằng *các số thực*.

Theo lý luận này ta đã tìm ra được lý do tại sao số *cần* cho một mô tả chuyển động bất kỳ.*

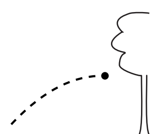
Vì các quan sát viên có thể khác nhau về hướng, các biểu diễn sẽ là các đối tượng toán học có hướng. Nói gọn lại, tính đối xứng, do sự thay đổi của vị trí, hướng hay thời điểm quan sát, sẽ dẫn tới kết quả là mọi biến động lực đều là 'vô hướng', 'vector' hay 'tensor' bậc cao. **

▷ Một *số vô hướng* là một biến động lực không thay đổi đối với mọi quan sát viên.

Một số vô hướng tương ứng với một bộ đơn. Các thí dụ là khối lượng hay điện tích của

* Chỉ các số vô hướng, khác với vector và các tensor bậc cao, cũng như các đại lượng chỉ nhận một tập hợp các giá trị rời rạc, như +1 hay −1. Tóm lại, chỉ có số vô hướng mới có thể là các biến động lực *rời rạc*.
** Sau này *spinor* sẽ được thêm vào và hoàn chỉnh danh sách này.

Câu đố 485 e



một vật, khoảng cách giữa 2 điểm, khoảng cách tới chân trời và nhiều đại lượng khác nữa. Các giá trị khả hữu của một số vô hướng (thường) liên tục, không giới nội và không có hướng. Các thí dụ khác về số vô hướng là thế và nhiệt độ tại một điểm. Vận tốc hiển nhiên không phải là một số vô hướng và toạ độ 1 điểm cũng thế. Bạn có thể tìm ra thêm thí dụ và phản thí dụ không? Câu đố 486 s

Năng lượng là một biến động lực khó chịu. Nó là 1 số vô hướng nếu ta chỉ xét tới sự thay đổi về nơi chốn, hướng và thời điểm quan sát. Nhưng nó không phải là số vô hướng nếu ta bao gồm sự thay đổi tốc độ của quan sát viên. Chưa có ai tìm kiếm sự tổng quát hoá xem năng lượng có là số vô hướng đối với quan sát viên chuyển động hay không. Chỉ có Albert Einstein tình cờ khám phá ra nó và ta sẽ kể về nó sau. Quyển II, trang 68

▷ Một đại lượng bất kỳ có độ lớn và hướng 'vẫn như cũ' đối với môi trường khi ta thay đổi quan điểm thì nó là một *vector*.

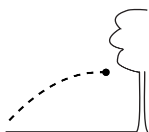
Thí dụ một mũi tên giữa 2 điểm cố định trên sàn nhà là một vector. Chiều dài của nó như nhau đối với mọi quan sát viên; hướng của nó thay đổi theo quan sát viên nhưng đối với môi trường thì không. Mặt khác, mũi tên giữa một cái cây và nơi mà một cầu vồng chạm vào mặt đất *không phải là* một vector, vì nơi đó không cố định khi quan sát viên thay đổi.

Các toán gia nói rằng vector là các đại lượng có hướng bất biến dưới phép biến đổi toạ độ. Vận tốc, gia tốc và cường độ trường là các vector. (Bạn có thể chứng minh điều này không?) Câu đố 487 e Độ dài một vector là một số vô hướng: nó giống nhau đối với một quan sát viên bất kỳ. Ngoài ra, một kết quả nổi tiếng và khó hiểu của những thí nghiệm trong thế kỷ 19 là vận tốc của chùm tia sáng *không phải là* một vector như vận tốc của một cái xe; vận tốc của chùm tia sáng không phải là một vector đối với phép biến đổi Galilei.* Bí mật này sẽ được làm rõ sau. Quyển II, trang 17

Tensor là các vector tổng quát hoá. Xem 214 Thí dụ như moment động lượng của một vật. Nó xác định sự phụ thuộc của moment động lượng vào vận tốc góc. Trang 119 Đối với một vật bất kỳ, độ lớn vận tốc góc tăng gấp đôi sẽ khiến độ lớn của moment động lượng tăng gấp đôi; tuy vậy 2 vector này không song song với nhau nếu vật không phải là hình cầu. Trang 165 Nhìn chung, nếu 2 đại lượng vector tỷ lệ theo nghĩa gấp đôi độ lớn đại lượng này là gấp đôi độ lớn đại lượng kia nhưng 2 vector không song song với nhau thì 'nhân tử' tỷ lệ là một *tensor* bậc 2. Giống như mọi nhân tử tỷ lệ, tensors có một độ lớn. Hơn nữa, tensor có hướng và *hình dạng*: chúng mô tả sự kết nối giữa các vector mà chúng liên hệ. Giống như vector là các đại lượng đơn giản nhất có độ lớn và hướng, tensor là các đại lượng đơn giản nhất có độ lớn, hướng và hình dạng tức là một hướng phụ thuộc vào hướng thứ hai đã chọn. Giống như vector có thể được biểu diễn bằng *các mũi tên có hướng*, các tensor đối xứng – nhưng không phải là các tensor không đối xứng – có thể được biểu diễn bằng các *ellipsoid*.** Bạn có thể cho một thí dụ khác về tensor không? Câu đố 489 s

* *Phép biến đổi Galilei* là sự thay đổi điểm quan sát từ quan sát viên này tới quan sát viên khác, chuyển động đối với quan sát viên trước. 'Phép biến đổi Galilei' chỉ là một thuật ngữ đối với những gì xảy ra trong đời sống hằng ngày, nơi phép cộng vận tốc và thời gian giống nhau đối với mọi người. Thuật ngữ này do Philipp Frank đưa ra năm 1908, phần lớn được sử dụng như một tương phản của phép biến đổi Lorentz rất phổ biến trong Thuyết tương đối đặc biệt.

** Một tensor hạng-n là một nhân tử tỷ lệ giữa một tensor hạng-1 – tức là một vector – và một tensor hạng-($n-1$). Vector và số vô hướng là tensor hạng 1 và hạng 0. Số vô hướng có thể hình dung như các hình cầu,



Chúng ta hãy trở lại việc mô tả chuyển động. Bảng 35 chứng tỏ rằng trong các hệ vật lý – như trong hoa văn Tây ban nha-Arab – ta luôn phải phân biệt giữa sự đối xứng của cả Lagrangian – tương ứng với sự đối xứng của toàn bộ hoa văn – và biểu diễn của các biến động lực – tương ứng với các nhóm bội của các dải. Vì tác dụng phải là số vô hướng và vì mọi biến động lực phải là tensor, các Lagrangian chứa các tổng và tích của các tensor chỉ dưới dạng các tổ hợp tạo thành số vô hướng. Như vậy các Lagrangian chỉ chứa các tích vô hướng hay các tổng quát hoá của chúng. Tóm lại, Lagrangian luôn có dạng

$$L = \alpha\, a_i b^i + \beta\, c_{jk} d^{jk} + \gamma\, e_{lmn} f^{lmn} + ... \qquad (85)$$

trong đó các chỉ số gắn với các biến a, b, c v.v... luôn luôn đi thành từng cặp khi lấy tổng. (Do đó dấu tổng thường được bỏ qua.) Các chữ Hy Lạp biểu diễn các hằng số. Thí dụ như tác dụng của một chất điểm tự do trong Vật lý Galilei được cho dưới dạng

$$S = \int L\,\mathrm{d}t = \frac{m}{2}\int v^2\,\mathrm{d}t \qquad (86)$$

thực sự là dạng mà ta vừa đề cập. Ta sẽ gặp nhiều trường hợp khác trong khi nghiên cứu chuyển động.*

---

vectors như các mũi tên và tensor hạng-2 đối xứng như các ellipsoid. Một tensor hạng-2 tổng quát, không đối xứng có thể tách ra theo một cách duy nhất thành một tensor đối xứng và một tensor phản đối xứng. Một tensor hạng-2 phản đối xứng tương ứng với một vector cực. Tensor hạng cao hơn tương ứng với các hình dạng phức tạp hơn.

Một vector có một chiều dài và hướng giống nhau đối với mọi quan sát viên; một tensor (hạng 2) có cùng định thức, vết và tổng các định thức con chéo đối với mọi quan sát viên.

Một vector được mô tả theo lối toán học bằng một *danh sách* các thành phần; một tensor (hạng 2) được mô tả bằng một *matrix* các thành phần. Hạng hay bậc của một tensor cho ta số chỉ số của biến động lực. Bạn có thể chứng minh điều này không?

* Danh sách thông thường của các điểm quan sát khả hữu – cụ thể là các vị trí, thời điểm quan sát, hướng và các vận tốc khác nhau – có *đầy đủ* đối với tác dụng (86) hay không? Điều đáng ngạc nhiên khi câu trả lời là không. Một trong những người đầu tiên nhận thấy điều này là Niederer, vào năm 1972. Qua việc nghiên cứu Thuyết lượng tử của các hạt, ông nhận thấy rằng ngay cả tác dụng của một hạt tự do Galilei cũng bất biến dưới tác dụng của một số phép biến đổi phụ. Nếu 2 quan sát viên sử dụng toạ độ $(t, \boldsymbol{x})$ và $(\tau, \boldsymbol{\xi})$, tác dụng (86) sẽ bất biến qua các phép biến đổi

Xem 215

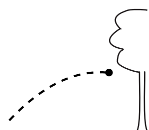
Câu đố 490 ny

$$\boldsymbol{\xi} = \frac{\boldsymbol{r}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{x}_0 + \boldsymbol{v}t}{\gamma t + \delta} \quad \text{và} \quad \tau = \frac{\alpha t + \beta}{\gamma t + \delta} \quad \text{với} \quad \boldsymbol{r}^T\boldsymbol{r} = \mathbf{1} \quad \text{và} \quad \alpha\delta - \beta\gamma = 1\,. \qquad (87)$$

trong đó $\boldsymbol{r}$ mô tả phép quay từ hướng của quan sát viên này sang hướng quan sát viên khác, $\boldsymbol{v}$ là vận tốc giữa 2 quan sát viên và $\boldsymbol{x}_0$ là vector giữa 2 gốc vào thời điểm 0. Nhóm này chứa 2 trường hợp đặc biệt quan trọng của các phép biến đổi:

$$\text{Nhóm Galilei tĩnh, liên thông } \boldsymbol{\xi} = \boldsymbol{r}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{x}_0 + \boldsymbol{v}t \quad \text{và} \quad \tau = t$$
$$\text{Nhóm phép biến đổi SL(2,R)} \boldsymbol{\xi} = \frac{\boldsymbol{x}}{\gamma t + \delta} \quad \text{và} \quad \tau = \frac{\alpha t + \beta}{\gamma t + \delta} \qquad (88)$$

Nhóm 3 tham số sau bao gồm *phép nghịch đảo không gian*, *phép giãn*, *phép tĩnh tiến thời gian* và tập hợp các phép biến đổi phụ thuộc thời gian như $\boldsymbol{\xi} = \boldsymbol{x}/t$, $\tau = 1/t$ được gọi là *các phép mở rộng*. Hai phép giãn và mở rộng ít được ta để cập tới vì chúng chỉ là các phép đối xứng của các hạt và không áp dụng cho các vật và hệ thông thường. Tuy vậy sau này chúng sẽ trở nên quan trọng.



Trang 157

Galilei đã hiểu rằng chuyển động cũng bất biến dưới sự thay đổi điểm quan sát do các vận tốc khác nhau. Tuy vậy, tác dụng theo định nghĩa vừa cho không phản ánh điều này. Người ta phải mất nhiều năm để tìm ra sự tổng quát hoá đúng đắn: nó được cho bởi Thuyết tương đối đặc biệt. Nhưng trước khi nghiên cứu nó, ta cần hoàn tất chủ đề này.

Tính tái lập được, sự bảo toàn và định lý Noether

> "Tôi sẽ để lại khối lượng, điện tích và động lượng của tôi cho khoa học."
>
> Graffito

Câu đố 491 ny

Tính tái lập được của các quan sát, tức là tính đối xứng dưới sự biến đổi của thời điểm hay 'tính bất biến tĩnh tiến thời gian', là một trường hợp độc lập đối với điểm quan sát. (Điều này không hiển nhiên; bạn có thể tìm được các biểu diễn bất khả quy của nó hay không?) Mối liên kết này có nhiều hệ quả quan trọng. Ta đã thấy rằng tính đối xứng hàm ý tính bất biến. Hoá ra đối với các phép đối xứng *liên tục*, như phép đối xứng tĩnh tiến thời gian, mệnh đề này có thể phát biểu chính xác hơn:

▷ Đối với một phép đối xứng liên tục bất kỳ của Lagrangian ta có một *hằng lượng của chuyển động* liên kết và ngược lại.

Phát biểu chính xác của mối liên hệ này là định lý của Emmy Noether.* Bà đã tìm thấy kết quả này năm 1915 trong khi giúp Albert Einstein và David Hilbert, hai người đang gắng sức cạnh tranh trong việc xây dựng Thuyết tương đối tổng quát. Tuy vậy, kết quả này áp dụng cho mọi loại Lagrangian.

Xem 216

Noether đã nghiên cứu các phép đối xứng liên tục phụ thuộc vào tham số liên tục b. Một phép biến đổi điểm quan sát là một phép đối xứng nếu tác dụng S không phụ thuộc vào giá trị của b. Thí dụ phép biến đổi vị trí là

$$x \mapsto x + b \qquad (89)$$

khiến cho tác dụng

$$S_0 = \int T(v) - U(x)\, \mathrm{d}t \qquad (90)$$

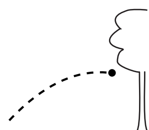
bất biến vì $S(b) = S_0$. Trường hợp này kéo theo

$$\frac{\partial T}{\partial v} = p = \text{const} \,. \qquad (91)$$

Tóm lại, sự đối xứng qua phép biến đổi vị trí sẽ dẫn tới sự bảo toàn động lượng. Điều ngược lại cũng đúng.

Trong trường hợp sự đối xứng dưới sự dịch chuyển của thời điểm quan sát, ta tìm

* Emmy Noether (b. 1882 Erlangen, d. 1935 Bryn Mawr), toán gia. Định lý này chỉ là một phần nhỏ trong sự nghiệp dành phần lớn cho Lý thuyết số của bà. Định lý cũng áp dụng cho các phép đối xứng chuẩn, khi nó phát biểu rằng mỗi phép đối xứng chuẩn tương ứng với một đồng nhất thức của phương trình chuyển động và ngược lại.



Câu đố 492 e

được

$$T + U = \text{const} . \quad (92)$$

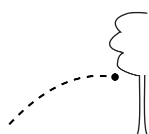
Nói cách khác, sự bất biến tĩnh tiến thời gian khiến cho năng lượng không đổi. Sự bảo toàn lại đúng.

Đại lượng bảo toàn đối với một phép đối xứng liên tục đôi khi được gọi là *tích Noether*, vì thuật ngữ *tích* được sử dụng trong Vật lý lý thuyết để chỉ các biến động lực bảo toàn tổng quát. Như vậy năng lượng và động lượng là các tích Noether. 'Điện tích', 'tích hấp dẫn' tức khối lượng và 'tích topo' là các thí dụ thường gặp khác. Tích bảo toàn đối với bất biến của phép quay là gì? Câu đố 493 s

Ta nên nhớ rằng phát biểu 'năng lượng được bảo toàn' mang nhiều ý nghĩa. Ý nghĩa đầu tiên là năng lượng của một hạt tự do *đơn lẻ* không đổi theo thời gian. Ý nghĩa thứ 2 là năng lượng toàn phần của một số hạt độc lập bất kỳ thì không đổi. Ý nghĩa sau cùng, năng lượng của một *hệ* hạt tức là bao gồm các tương tác của chúng, không đổi theo thời gian. Sự va chạm là thí dụ cho trường hợp sau. Định lý Noether tạo ra các điều này cùng một lúc và bạn có thể kiểm chứng bằng cách sử dụng các Lagrangian tương ứng. Câu đố 494 e

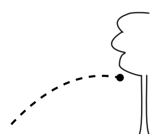
Nhưng định lý Noether cũng tạo ra, hay đúng ra là lặp lại, một phát biểu còn mạnh hơn: nếu năng lượng không bảo toàn, ta không thể định nghĩa thời gian. Toàn bộ mô tả thiên nhiên cần sự hiện hữu của các đại lượng bảo toàn, như ta đã nhận thấy khi đưa ra khái niệm các vật thể, trạng thái và môi trường. Trang 27 Thí dụ ta định nghĩa vật thể là các thực thể *không thay đổi* tức là các thực thể được đặc trưng bằng các đại lượng bảo toàn. Ta cũng thấy rằng chỉ có thể đưa ra khái niệm thời gian vì trong thiên nhiên 'không có sự ngạc nhiên'. Trang 238 Định lý Noether đã mô tả chính xác 'ngạc nhiên' phải như thế nào: năng lượng không bảo toàn. Tuy vậy, ta không bao giờ thấy các bước nhảy năng lượng – ngay cả ở mức độ lượng tử.

Vì sự đối xứng rất quan trọng đối với sự mô tả thiên nhiên, Bảng 36 sẽ cho một tổng quan về mọi phép đối xứng của thiên nhiên mà ta sẽ gặp. Các tính chất chính của chúng cũng được liệt kê. Trừ những tính chất được đánh dấu là 'gần đúng', một bằng chứng thực nghiệm về sự không đúng của một tính chất bất kỳ cũng sẽ thực sự gây ra một sự ngạc nhiên lớn lao – và bảo đảm cho một tiếng tăm trường cửu. Đã có nhiều nghiên cứu tìm thêm các phép đối xứng khác; cho tới nay, tất cả các suy đoán và truy tầm danh vọng lâu dài này đều sai lầm. Danh sách các phép đối xứng cũng là một danh sách đầy đủ các phát biểu phổ quát, tức là các phát biểu về *mọi* quan sát mà các khoa học gia đã thực hiện. Thí dụ như khi ta nói "mọi hòn đá đều rơi xuống" thì phát biểu này hàm ý sự hiện hữu của bất biến tĩnh tiến không gian và thời gian. Đối với các triết gia quan tâm tới *các phép quy nạp* hợp lý, danh sách cũng quan trọng theo quan điểm này.



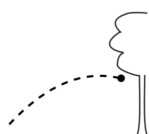
BẢNG 36 Các phép đối xứng đã biết của thiên nhiên, với các tính chất của chúng; đây cũng là danh sách đầy đủ các phép quy nạp hợp lý được sử dụng trong Vật lý.

Phép đối xứng	Kiểu [số tham số]	không gian tác dụng	Topo của nhóm	Biểu diễn khả hữu	Đại lượng bảo toàn/ tích	Chân không/ vật chất có tính đối xứng	Hiệu ứng chính
Các phép đối xứng ngoài, hình học hay không thời gian							
Phép tĩnh tiến thời gian và không gian	R × R^3 [4 ts.]	không gian, thời gian	không compact	vô hướng, vector,	động lượng và năng lượng	có/có	cho phép biến đổi thông thường
Phép quay	SO(3) [3 ts.]	không gian	S^2	tensor	moment động lượng	có/có	truyền thông
Phép biến đổi Galilei	R^3 [3 ts.]	không gian, thời gian	không compact	vô hướng, vector, tensor	vận tốc khối tâm	có/đối với tốc độ thấp	tính tương đối của chuyển động
Lorentz	Lie thuần nhất SO(3,1) [6 ts.]	Không-thời gian	không compact	tensor, spinor	năng-động lượng $T^{\mu\nu}$	có/có	tốc độ ánh sáng không đổi
Poincaré ISL(2,C)	Lie không thuần nhất [10 ts.]	không-thời gian	không compact	tensor, spinor	năng-động lượng $T^{\mu\nu}$	có/có	
Bất biến giãn	R^+ [1 ts.]	không-thời gian	tia	continuum *n*-chiều	không	có/không	hạt không khối lượng
Bất biến bảo giác đặc biệt	R^4 [4 ts.]	không-thời gian	R^4	continuum *n*-chiều	không	có/không	hạt không khối lượng
Bất biến bảo giác	[15 ts.]	không-thời gian	phức tạp	tensor, spinor không khối lượng	không	có/không	bất biến hình nón ánh sáng
Phép đối xứng động lực, phụ thuộc tương tác: sự hấp dẫn							
lực hấp dẫn $1/r^2$	SO(4) [6 ts.]	không gian cấu hình	như SO(4)	cặp vector	hướng cận nhật	có/có	quỹ đạo đóng
Bất biến vi đồng phôi	[∞ ts.]	không-thời gian	phức tạp	không-thời gian	năng-động lượng địa phương	có/không	dịch chuyển cận nhật
Phép đối xứng chuyển động động lực, cổ điển và cơ lượng tử							



BẢNG 36 (Tiếp theo) Các phép đối xứng đã biết của thiên nhiên, với các tính chất của chúng; đây cũng là danh sách đầy đủ các phép quy nạp hợp lý được sử dụng trong Vật lý.

Phép đối xứng	Kiểu [số tham số]	không gian tác dụng	Topo của nhóm	Biểu diễn khả hữu	Đại lượng bảo toàn/ tích	Chân không/ vật chất có tính đối xứng	Hiệu ứng chính
Phép nghịch đảo chẵn lẻ ('không gian') P	rời rạc	không gian Hilbert / không gian phase	rời rạc	chẵn, lẻ	Số chẵn lẻ P	có/không	thế giới gương hiện hữu
Phép nghịch đảo chuyển động ('thời gian') T	rời rạc	không gian Hilbert / không gian phase	rời rạc	chẵn, lẻ	Số chẵn lẻ T	có/không	tính thuận nghịch
Liên hợp điện tích C	toàn cục, phản tuyến tính, phản Hermite	không gian Hilbert hay không gian phase	rời rạc	chẵn, lẻ	Số chẵn lẻ C	có/không	phản hạt hiện hữu
CPT	rời rạc	không gian Hilbert / không gian phase	rời rạc	chẵn	Số chẵn lẻ CPT	có/có	làm cho Lý thuyết trường khả dụng
Phép đối xứng chuẩn, động lực, phụ thuộc tương tác							
Bất biến điện từ chuẩn, cổ điển	[∞ ts.]	không gian của trường	không quan trọng	không quan trọng	điện tích	có/có	ánh sáng không khối lượng
Bất biến điện từ chuẩn, cơ lượng tử	Lie Abel U(1) [1 ts.]	không gian Hilbert	S^1 vòng	trường	điện tích	có/có	photon không khối lượng
Đối ngẫu điện từ	Lie Abel U(1) [1 ts.]	không gian của trường	S^1 vòng	trừu tượng	trừu tượng	có/không	không
Nhược chuẩn	Lie không Abel SU(2) [3 ts.]	không gian Hilbert	như $SU(3)$	hạt	nhược tích	không/gần đúng	



BẢNG 36 (Tiếp theo) Các phép đối xứng đã biết của thiên nhiên, với các tính chất của chúng; đây cũng là danh sách đầy đủ các phép quy nạp hợp lý được sử dụng trong Vật lý.

Phép đối xứng	Kiểu [số tham số]	không gian tác dụng	Topo của nhóm	Biểu diễn khả hữu	Đại lượng bảo toàn/ tích	Chân không/ vật chất có tính đối xứng	Hiệu ứng chính
Sắc chuẩn	Lie không Abel SU(3) [8 ts.]	không gian Hilbert	như $SU(3)$	quark màu	sắc tích	có/có	gluon không khối lượng
Thủ đối xứng	rời rạc	fermion	rời rạc	trái, phải	độ xoắn	gần đúng	fermion[a] 'không khối lượng'
Phép đối xứng hoán vị							
Hoán đổi hạt	rời rạc	không gian Fock ...	rời rạc	fermion và boson	không	không có/có	nghịch lý Gibbs

Quyển III, trang 318

Để có thêm chi tiết về mối liên hệ giữa phép đối xứng và phép quy nạp, hãy xem phần sau. Phần giải thích thuật ngữ trong bảng này sẽ được hoàn tất trong phần du hành còn lại. Số thực được ký hiệu là *R*.
a. Chỉ gần đúng; 'không khối lượng' có nghĩa là $m \ll m_{\text{Pl}}$, tức là $m \ll 22\,\mu\text{g}$.

Phép nghịch đảo chẵn lẻ và sự đảo chiều chuyển động

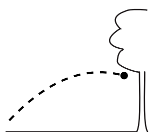
Các phép đối xứng trong Bảng 36 bao gồm 2 phép đối xứng *rời rạc* quan trọng đối với việc nghiên cứu chuyển động.

Phép đối xứng đầu tiên là *bất biến chẵn lẻ* đối với các vật hay quá trình dưới phép nghịch đảo không gian. Phép đối xứng này còn được gọi là *bất biến gương* hay *phép đối xứng trái phải*. Cả vật lẫn quá trình đều có thể có tính đối xứng gương. Một chiếc găng tay hay một cái kéo không có tính đối xứng gương. Bạn có thể thể ném một vật đi bao xa bằng tay kia? Phần lớn chúng ta có một tay thuận và sự khác biệt khá rõ ràng. Thiên nhiên có thiên lệch trái phải như vậy không? Trong đời sống hằng ngày ta có câu trả lời rõ ràng: mọi vật hiện hữu hay xảy ra theo cách này thì cũng có thể xảy ra theo cách đối xứng gương của nó.

Nhiều thí nghiệm chính xác đã kiểm chứng tính bất biến gương; chúng chứng tỏ rằng

▷ Mọi quá trình bắt nguồn từ hấp dẫn, điện hay từ đều có thể xảy ra theo cách đối xứng gương.

Không có ngoại lệ. Thí dụ như có người có tim nằm bên phải; có ốc sên vỏ xoắn trái; có hành tinh quay ngược. Thiên văn học và đời sống thông thường – bị các quá trình hấp dẫn và điện từ chi phối – có tính *bất biến gương*. Ta cũng nói rằng hiện tượng hấp dẫn



và điện từ có *tính bất biến chẵn lẻ*. Sau này ta sẽ khám phá ra rằng có những quá trình hiếm hoi không bắt nguồn từ hấp dẫn hay điện từ mà từ tương tác hạt nhân, vi phạm tính chẵn lẻ.

Quyển V, trang 245

Phép đối xứng gương có 2 biểu diễn: '+ hay bộ đơn', như vật đối xứng gương và '– hay bộ đôi', như các vật có tay. Vì tính đối xứng gương, các đại lượng vô hướng có thể chia thành vô hướng *thực*, như nhiệt độ, và *giả vô hướng*, như từ thông hay từ tích. Vô hướng thực không đổi dấu qua phép phản xạ gương, trong khi giả vô hướng thì có. Tương tự, người ta phân biệt vector *thực* hay vector *cực*, như vận tốc với *giả-vector*, hay vector trục, như vận tốc góc, moment động lượng, moment lực, độ cuộn xoáy và từ trường. (Bạn có thể tìm được một thí dụ về giả-tensor không?)

Phép đối xứng rời rạc kia là *phép đảo chiều chuyển động*. Đôi khi người ta cũng gọi sai là 'phép đảo ngược thời gian'. Các hiện tượng có thể xảy ra ngược lại không? Chuyển động ngược có đi theo con đường đi xuôi không? Đây là câu hỏi khó. Việc tìm hiểu chuyển động do hấp dẫn chứng tỏ rằng chuyển động như vậy cũng luôn luôn có thể xảy ra theo chiều ngược lại. (Cũng đối với sự đảo chiều chuyển động, các biến động lực thuộc về cả hai biểu diễn + hay –.) Trong trường hợp chuyển động do điện và từ, hành trạng của nguyên tử trong chất khí, lỏng hay rắn, câu hỏi phức tạp hơn. Các vật bị vỡ có thể làm cho lành lại không? Ta sẽ bàn đến chủ đề này trong phần Nhiệt động lực học nhưng ta sẽ đi đến cùng một kết luận, dù có mâu thuẫn:

▷ Mọi chuyển động do hấp dẫn, điện hay từ đều có thể xảy ra theo chiều ngược lại.

Sự đảo chiều chuyển động là một phép đối xứng đối với tất cả các quá trình do tương tác hấp dẫn và tương tác điện từ. Chuyển động thông thường *có thể đảo ngược*. Và một lần nữa ta lại có ngoại lệ hiếm hoi là các quá trình hạt nhân.

Phép đối xứng tương tác

Trong thiên nhiên khi chúng ta quan sát một hệ thống, ta thường bỏ qua môi trường. Nhiều quá trình xảy ra độc lập với những gì xảy ra chung quanh chúng. Sự độc lập này là một phép đối xứng vật lý. Nếu các quan sát độc lập với sự việc xảy ra trong môi trường thì ta có thể suy ra là sự tương tác giữa các hệ và môi trường *giảm đi theo khoảng cách*. Đặc biệt, lực hấp dẫn, lực điện và lực từ phải bằng 0 đối với các vật ở xa. Bạn có thể khẳng định điều này không?

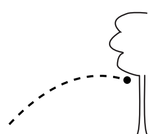
Câu đố 495 e

Phép đối xứng chuẩn cũng là một phép đối xứng tương tác. Ta sẽ gặp chúng trong cuộc thám hiểm thế giới lượng tử. Theo một nghĩa nào đó, những phép đối xứng này là các trường hợp đặc biệt của việc giảm tương tác theo khoảng cách.

Các câu đố vui và lạ về sự đối xứng

Đối xứng trái phải là một tính chất quan trọng trong đời sống hằng ngày; con người rất thích đối diện với sự đối xứng trái phải. Con người cũng thích các vật treo trên tường có hình dạng đối xứng trái phải. Hoá ra mắt và não bộ có sẵn những máy phát hiện đối xứng. Chúng dò ra sự sai lệch đối với sự đối xứng trái phải.

* *



Đường đi của 4 con rùa khởi hành từ 4 góc của một hình vuông là gì nếu mỗi con đi liên tục, với tốc độ không đổi, hướng về con rùa kế đó? Khoảng cách di chuyển của chúng là bao nhiêu? Câu đố 496 s

* *

Câu đố 497 s Sự đối xứng của một dao động đơn là gì? Và của một sóng?

* *

Câu đố 498 s Sự đảo chiều chuyển động là phép biến đổi đối xứng của những hệ nào?

* *

Câu đố 499 s Tính đối xứng của một phép quay liên tục là gì?

* *

Một hình cầu có một tensor cho moment quán tính mà đường chéo có 3 số bằng nhau. Điều này cũng đúng cho khối lập phương. Bạn có thể phân biệt hai vật này bằng chuyển động quay của chúng hay không? Câu đố 500 s

* *

Câu đố 501 s Có chuyển động nào trong thiên nhiên có tính đối xứng hoàn hảo không?

* *

Bạn có thể chứng minh rằng trong các vật *2* chiều, *hữu hạn* chỉ có thể có phép đối xứng quay và phản xạ, khác với vật *vô hạn* có thể có phép đối xứng tĩnh tiến và phản xạ trượt hay không? Bạn có thể chứng minh rằng đối với các vật hữu hạn 2 chiều, nếu không có phép đối xứng quay, thì chỉ có 1 phép đối xứng phản xạ hay không? Và mọi phép quay khả hữu luôn luôn có 1 tâm chung hay không? Bạn có thể suy ra là có ít nhất 1 điểm không thay đổi trong tất cả các vật 2 chiều, hữu hạn, đối xứng hay không? Câu đố 502 e

* *

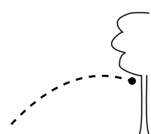
Câu đố 503 s Vật nào trong đời sống thông thường, phổ biến trong thế kỷ 20, có đối xứng bậc 7?

* *

Đây là một câu đố nhỏ về *không có* đối xứng. Một tam giác *thường* nhọn là một tam giác được định nghĩa là một tam giác có các góc khác với góc vuông và khác nhau ít nhất 15 độ. Chứng tỏ rằng chỉ có 1 tam giác như vậy và hãy tìm các góc của nó. Câu đố 504 e

* *

Bạn có thể chứng tỏ rằng trong các vật *3* chiều, *hữu hạn* chỉ có thể có phép đối xứng quay, phản xạ, nghịch đảo và nghịch đảo quay, khác với vật *vô hạn* có thể có phép đối xứng tĩnh tiến, phản xạ trượt và quay xoắn đinh ốc hay không? Bạn có thể chứng minh rằng đối với các vật hữu hạn 3 chiều, nếu không có phép đối xứng quay, thì chỉ có 1 mặt phẳng đối xứng hay không? Và đối với mọi phép nghịch đảo hay nghịch đảo quay thì tâm quay phải nằm trên một trục quay hay trên một mặt phẳng đối xứng hay không? Bạn có thể suy ra là có ít nhất 1 điểm không thay đổi trong các vật 3 chiều, hữu hạn, đối xứng hay không? Câu đố 505 e



Tóm tắt về sự đối xứng

Sự đối xứng là sự bất biến đối với thay đổi. Các đối xứng đơn giản nhất là các đối xứng hình học: sự đối xứng điểm của hoa hay đối xứng tĩnh tiến của các tinh thể vô hạn là các thí dụ. Mọi thay đổi khả hữu mà vẫn để cho hệ không thay đổi – tức là mọi phép biến đổi đối xứng của hệ – tạo thành một nhóm toán học. Khác với các nhóm đối xứng *hình học*, nhiều nhóm đối xứng phụ xuất hiện đối với chuyển động của vật.

Chuyển động có tính phổ quát. Mọi mệnh đề có tính phổ quát bất kỳ đều hàm chứa một đối xứng. Tính tái lập được và tính tiên đoán được của thiên nhiên dẫn tới nhiều phép đối xứng liên tục cơ bản: vì ta có thể *nói về* thiên nhiên nên trên hết ta có thể suy ra là thiên nhiên có tính đối xứng qua *các phép tĩnh tiến thời gian và không gian* cùng với *các phép quay*. Các phép đối xứng không-thời gian tạo thành một nhóm. Nói chính xác hơn, chúng tạo thành một nhóm đối xứng *liên tục*.

Từ các phép đối xứng liên tục của thiên nhiên và sử dụng định lý Noether, ta có thể suy ra là các 'tích' được bảo toàn. Đây là năng lượng, động lượng và moment động lượng. Chúng được mô tả bằng các số thực. Nói cách khác, định nghĩa của khối lượng, không gian, thời gian cùng với các tính đối xứng của chúng, *tương đương* với sự bảo toàn của năng lượng, động lượng và moment động lượng. Sự bảo toàn và tính đối xứng là 2 cách biểu thị của cùng một tính chất của thiên nhiên. Để cho đơn giản, khả năng nói về thiên nhiên của chúng ta đồng nghĩa với năng lượng, động lượng và moment động lượng được bảo toàn và được mô tả bằng các con số.

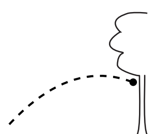
Thêm vào đó, có 2 phép đối xứng rời rạc cơ bản về chuyển động: một là các hiện tượng thông thường có tính *đối xứng gương*; hai là nhiều chuyển động đơn giản có tính đối xứng qua *phép đảo chiều chuyển động*.

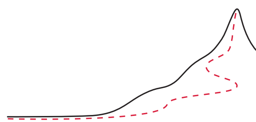
Sau cùng, tính cô lập của một hệ đối với môi trường chung quanh khiến cho tương tác *không có tác dụng xa*. Danh sách đầy đủ các phép đối xứng của thiên nhiên cũng bao gồm phép đối xứng chuẩn, phép đối xứng hoán đổi hạt và các phép đối xứng chân không.

Mọi phương diện của chuyển động, cũng như mọi thành phần của hệ đối xứng, đều có thể phân loại theo tính chất đối xứng của chúng, tức là bằng các nhóm bội hay các biểu diễn chứa chúng. Kết quả, các biến động lực sẽ là các vô hướng, vector, spinor hay tensor.

Có một cách hữu ích để thiết lập các kiểu thức và 'định luật' của thiên nhiên – tức là Lagrangian của một hệ vật lý – là tìm tập hợp đầy đủ các phép đối xứng của thiên nhiên trước tiên. Điều này hữu ích đối với dao động, sóng, Thuyết tương đối, Vật lý lượng tử và Điện động lực học lượng tử. Ta sẽ sử dụng phương pháp này trong suốt cuộc hành trình; trong phần cuối cùng của cuộc thám hiểm ta sẽ khám phá một số phép đối xứng dị thường hơn cả các phép đối xứng trong Thuyết tương đối và trong các tương tác. Dù vậy trong phần kế tiếp, ta sẽ tiếp tục tiếp cận với sự mô tả chuyển động tổng quát.







Chương 10

Chuyển động đơn giản của các vật linh hoạt – dao động và sóng

Hiện tượng biến đổi là một phương diện cơ bản của thiên nhiên. Giữa các hiện tượng này, biến đổi *tuần hoàn* thường xảy ra quanh ta. Thật vậy, trong cuộc sống ta thường thấy dao động và sóng: ta không thể nói, ca hát, nghe và nhìn nếu không có chúng. Tìm hiểu dao động và sóng, tiếp cận tổng quát kế tiếp với chuyển động trong cuộc hành trình là một điều hữu ích và thú vị.

Dao động

Dao động là các biến đổi lặp đi lặp lại, tức là biến đổi có chu kỳ hay tuần hoàn. Ở phần trên, ta đã định nghĩa tác dụng và biến đổi là tích phân của Lagrangian và định nghĩa Lagrangian là hiệu giữa động năng và thế năng. Mọi hệ dao động tuần hoàn đều chuyển đổi một loại năng lượng này với một loại năng lượng khác. Một hệ dao động đơn giản nhất trong thiên nhiên là vật khối lượng m gắn vào một *lò xo* (thẳng). Lagrangian đối với vị trí của vật x là

Trang 248

$$L = \tfrac{1}{2}mv^2 - \tfrac{1}{2}kx^2 \,, \qquad (93)$$

trong đó k là đại lượng đặc trưng cho lò xo được gọi là hằng số lò xo. Lagrangian này bắt nguồn từ Robert Hooke, vào thế kỷ 17. Bạn có thể chứng minh biểu thức này không?

Câu đố 506 e

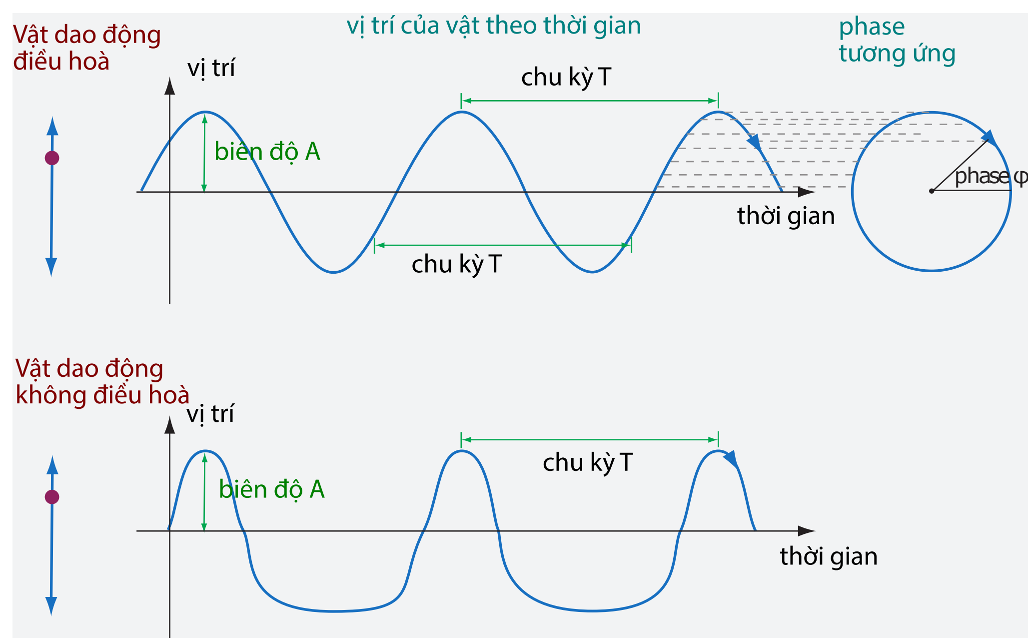
Chuyển động kết quả của Lagrangian này thì điều hoà và được minh hoạ trong Hình 203. Lagrangian (93) mô tả *dao động* của chiều dài lò xo theo thời gian. Chuyển động này giống y như chuyển động của một con lắc đơn biên độ nhỏ. Chuyển động được gọi là *chuyển động điều hoà* vì một vật dao động nhanh theo cách này sẽ sinh ra một âm thuần tuý – hay điều hoà – trong âm nhạc. (Nhạc cụ phát ra sóng điều hoà thuần tuý nhất là sáo ngang. Nhạc cụ này cho ta một ý niệm tốt nhất về cách mà một chuyển động điều hoà 'ngân lên'.)

Ký đồ của dao động điều hoà này, còn gọi là *dao động thẳng*, được biểu diễn trong Hình 203, được gọi là *đường sine*; ta có thể xem nó là các khối xây dựng cơ bản của mọi dao động. Mọi dao động không điều hoà khác trong thiên nhiên đều được tạo nên từ các dao động điều hoà, tức là từ các đường sine như ta sẽ thấy sau đây. Một đại lượng bất kỳ $x(t)$ dao động điều hoà được mô tả bằng biên độ A, tần số góc ω và phase φ của nó:

Trang 292

$$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi) \,. \qquad (94)$$

Biên độ và phase phụ thuộc vào cách khởi tạo dao động. Ngược lại, tần số góc ω là một tính chất riêng của hệ. Bạn có thể chứng minh rằng ta có $\omega = 2\pi f = 2\pi/T = \sqrt{k/m}$



HÌNH 203 Hình trên: dao động đơn giản nhất, dao động thẳng hay dao động điều hoà: cách vị trí thay đổi theo thời gian và liên hệ với chuyển động tròn. Hình dưới: một thí dụ về dao động không điều hoà.

Câu đố 507 s

không?

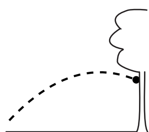
Như vậy mỗi dao động điều hoà chỉ được mô tả bằng 3 đại lượng: *biên độ*, *chu kỳ* (nghịch đảo của tần số) và *phase*. Phase, được minh hoạ trong Hình 205, phân biệt các dao động có cùng biên độ và chu kỳ T; phase xác định thời điểm dao động bắt đầu.

Một số tần số dao động quan sát được liệt kê trong Bảng 37. Hình 203 cho thấy mối liên hệ giữa dao động điều hoà và một chuyển động tròn ảo. Kết quả, phase được mô tả tốt nhất bằng góc giữa 0 và 2π.

Sự tắt dần

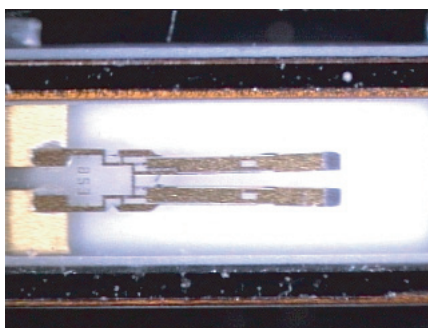
Mỗi dao động liên tục biến đổi động năng thành thế năng và ngược lại. Đây là trường hợp của thuỷ triều, con lắc hay máy thu vô tuyến. Nhưng nhiều dao động cũng giảm đi theo thời gian: chúng bị *tắt dần*. Hệ có sự tắt dần lớn như bộ giảm chấn trong xe hơi, được sử dụng để tránh dao động. Hệ có sự tắt dần *nhỏ* thì hữu ích trong việc làm tăng độ chính xác cho các đồng hồ chạy lâu ngày. Số đo đơn giản nhất của sự tắt dần là số dao động mà hệ cần có để làm giảm biên độ đi $1/e \approx 1/2.718$ lần giá trị ban đầu. Con số đặc trưng này được gọi là *hệ số Q*, viết tắt của 'hệ số phẩm chất'. Một hệ số Q nghèo nàn là 1 hay nhỏ hơn, hệ số cực tốt là 100 000 hay lớn hơn. (Bạn có thể viết ra Lagrangian đơn giản của một dao động tắt dần với hệ số Q đã cho không?) Trong thiên nhiên, các dao động tắt dần thường không giữ được tần số không thay đổi; tuy vậy, đối với con lắc đơn thì tần số vẫn không đổi với độ chính xác khá cao. Lý do là đối với con lắc đơn, tần số không phụ thuộc nhiều vào biên độ (miễn là biên độ nhỏ hơn 20°). Đây là lý do con lắc được sử dụng làm bộ dao động trong đồng hồ cơ học.

Câu đố 508 ny



BẢNG 37 Một số tần số âm gặp trong thiên nhiên.

Hiện tượng	Tần số
Tần số âm trong chất khí, do hố đen phát ra	*c.* 1 fHz
Độ chính xác trong số đo tần số dao động của Mặt trời	xuống tới 2 nHz
Tần số dao động của Mặt trời	xuống tới *c.* 300 nHz
Tần số dao động làm nhiễu sự phát hiện bức xạ hấp dẫn	xuống tới 3 μHz
Tần số dao động thấp nhất của Trái đất Xem 217	309 μHz
Tần số cộng hưởng của dạ dày và nội quan (cảm nhận 'âm thanh trong bụng')	1 tới 10 Hz
Nhịp điệu 1 bản nhạc thông thường	2 Hz
Tần số truyền tin của cá khi đánh rắm	*c.* 10 Hz
Âm do bộ loa tạo ra (kèn, điện từ, áp điện, điện châm, plasma, laser)	*c.* 18 Hz tới hơn 150 kHz
Âm nghe được đối với người trẻ	20 Hz tới 20 kHz
Tiếng ù của thiết bị điện, phụ thuộc vào quốc gia	50 hay 60 Hz
Tần số giọng nói cơ bản của nam nhân trưởng thành	85 Hz tới 180 Hz
Tần số giọng nói cơ bản của nữ nhân trưởng thành	165 Hz tới 255 Hz
Giá trị chính thức hay *cao độ chuẩn*, của nốt nhạc 'A' hay 'la', theo ISO 16 (và của tín hiệu đường điện thoại ở nhiều quốc gia)	440 Hz
Giá trị thông thường của nốt nhạc 'A' hay 'la' do dàn nhạc sử dụng	442 tới 451 Hz
Nhịp đập cánh của côn trùng bay nhỏ nhất	*c.* 1000 Hz
Tần số âm cơ bản do lông của chim manakin, *Machaeropterus deliciosus* tạo ra	1 tới 1.5 kHz
Tần số âm cơ bản của dế	2 kHz tới 9 kHz
Tần số của bộ dao động thạch anh	20 kHz lên tới 350 MHz
Sonar của dơi	trên 100 kHz
Sonar của cá heo	lên tới 150 kHz
Tần số âm được sử dụng trong máy chụp ảnh siêu âm	2 tới 20 MHz
Tần số Phonon đo được trong đơn tinh thể	lên tới 20 THz và cao hơn



HÌNH 204 Bên trong một mạch dao động thạch anh thương mại, kích thước vài mm, dao động với biên độ lớn. (QuickTime film © Microcrystal)

Điều hiển nhiên là đối với một đồng hồ tốt, dao động kích động không những phải có độ tắt dần nhỏ mà còn phải độc lập với nhiệt độ và không nhạy với các ảnh hưởng bên ngoài khác. Một phát triển quan trọng của thế kỷ 20 là dùng tinh thể thạch anh làm mạch dao động. Thạch anh kỹ thuật là các tinh thể có kích thước cỡ hạt cát; chúng được làm cho dao động bằng cách sử dụng một tín hiệu điện. Chúng ít phụ thuộc vào nhiệt độ, có hệ số Q lớn, tiêu thụ ít năng lượng, nên đồng hồ chính xác có thể chạy bằng pin nhỏ. Bên trong mạch dao động thạch anh được trình bày trong Hình 204.

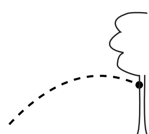
Sự cộng hưởng

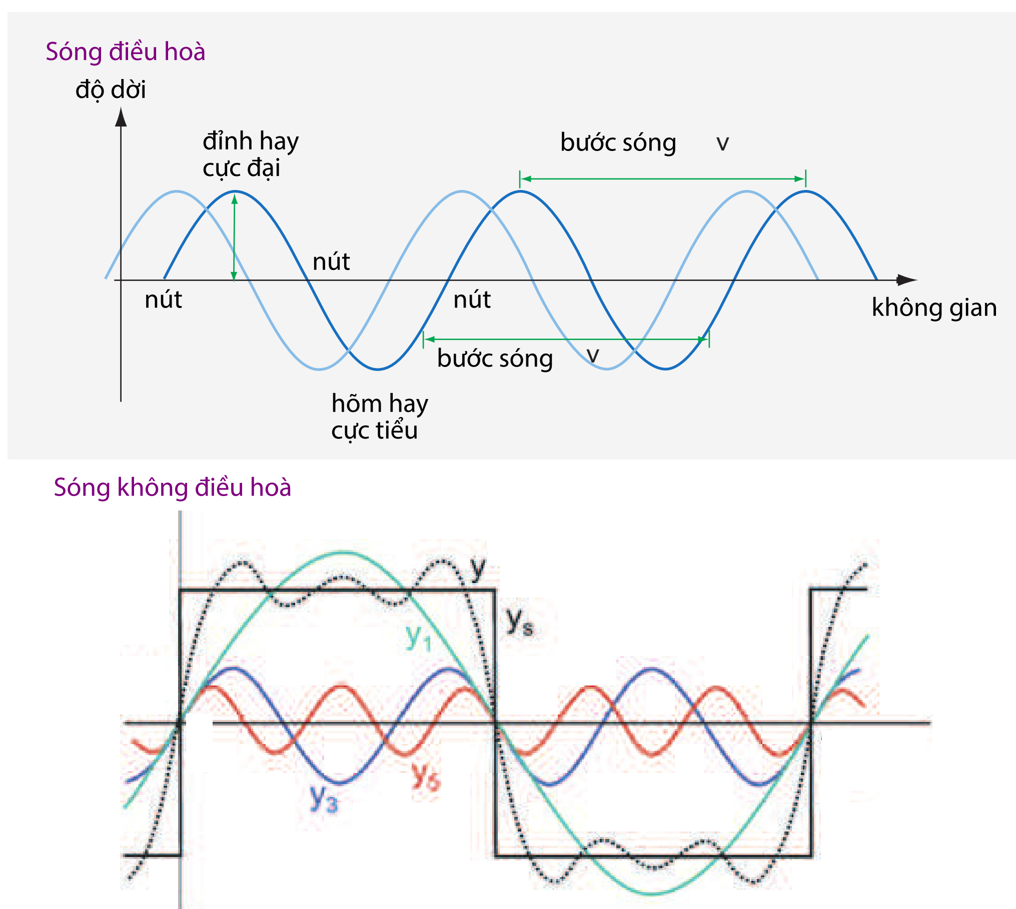
Trong phần lớn các hệ vật lý được các nguồn bên ngoài làm cho dao động, biên độ của hệ phụ thuộc vào tần số. Các tần số làm cho biên độ dao động cực đại được gọi là *tần số cộng hưởng*. Thí dụ mạch dao động thạch anh trong Hình 204, hay các tần số dao động thông thường của dây đàn guitar hay chuông – được trình bày trong Hình 206 – là các tần số cộng hưởng.

Thông thường, các dao động của hệ khi được kích khởi bằng một cú chạm nhẹ sẽ xảy ra ở tần số cộng hưởng. Phần lớn các nhạc cụ là như vậy. Hầu hết các hệ đều có nhiều tần số cộng hưởng; sáo, đàn dây và chuông là các thí dụ nổi tiếng.

Khác với âm nhạc hay điện tử, trong nhiều trường hợp khác ta cần tránh sự cộng hưởng. Trong các toà cao ốc, các trận động đất có thể kích khởi sự cộng hưởng; trong các cây cầu, gió có thể gây ra các dao động cộng hưởng; tương tự, trong nhiều máy móc ta cần dập tắt hay ngăn chặn sự cộng hưởng để tránh cho biên độ dao động quá lớn làm sụp đổ hệ thống. Trong các xe hơi hiện đại chất lượng cao, sự cộng hưởng của các bộ phận và kết cấu đều được tính toán và nếu cần, được điều chỉnh sao cho không có các dao động làm phiền tài xế và hành khách.

Mọi hệ dao động cũng phát ra *sóng*. Đúng ra sự cộng hưởng chỉ xảy ra vì mọi dao động thực sự là *các sóng định xứ*. Thật vậy, dao động chỉ xuất hiện trong các hệ *linh hoạt*; và dao động chỉ là sự mô tả đơn giản hoá của chuyển động tuần hoàn của một hệ linh hoạt bất kỳ. Chuyển động tuần hoàn tổng quát và đầy đủ của một hệ linh hoạt là một *sóng*.





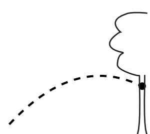
HÌNH 205 Hình trên: các tính chất chính của một sóng điều hoà hay sóng sine. Hình dưới: một tín hiệu tuần hoàn tổng quát hay sóng không điều hoà – đây là một sóng hình vuông – có thể phân tích một cách duy nhất thành các sóng điều hoà đơn giản nhất. Ba thành phần đầu tiên (xanh lục, xanh và đỏ) và các tổng trung gian của chúng (đường chấm chấm đen) cũng được vẽ ra. Đây được gọi là khai triển Fourier và phương pháp tổng quát để làm việc này được gọi là giải tích Fourier. (© Wikimedia) Không trình bày ở đây: sự phân tích thành các sóng điều hoà cũng có thể áp dụng cho các tín hiệu không tuần hoàn.

Sóng: tổng quát và điều hoà

Sóng là sự mất cân bằng di chuyển hay các dao động của một chất nền di chuyển. Sóng di chuyển còn chất nền thì không. Mỗi sóng được xem như sự chồng chập của nhiều sóng *điều hoà*. Ta có thể nghĩ mỗi hiệu ứng âm thanh được cấu tạo từ nhiều sóng điều hoà. Sóng điều hoà hay *sóng sine* hay *sóng thẳng*, là các khối xây dựng đã tạo nên mọi chuyển động nội tại của một vật linh hoạt, như ta thấy trong Hình 205. Bạn có thể mô tả sự khác nhau về hình dạng sóng của một sóng điều hoà thuần tuý, một nhạc âm, một tiếng động, và một tiếng nổ không?

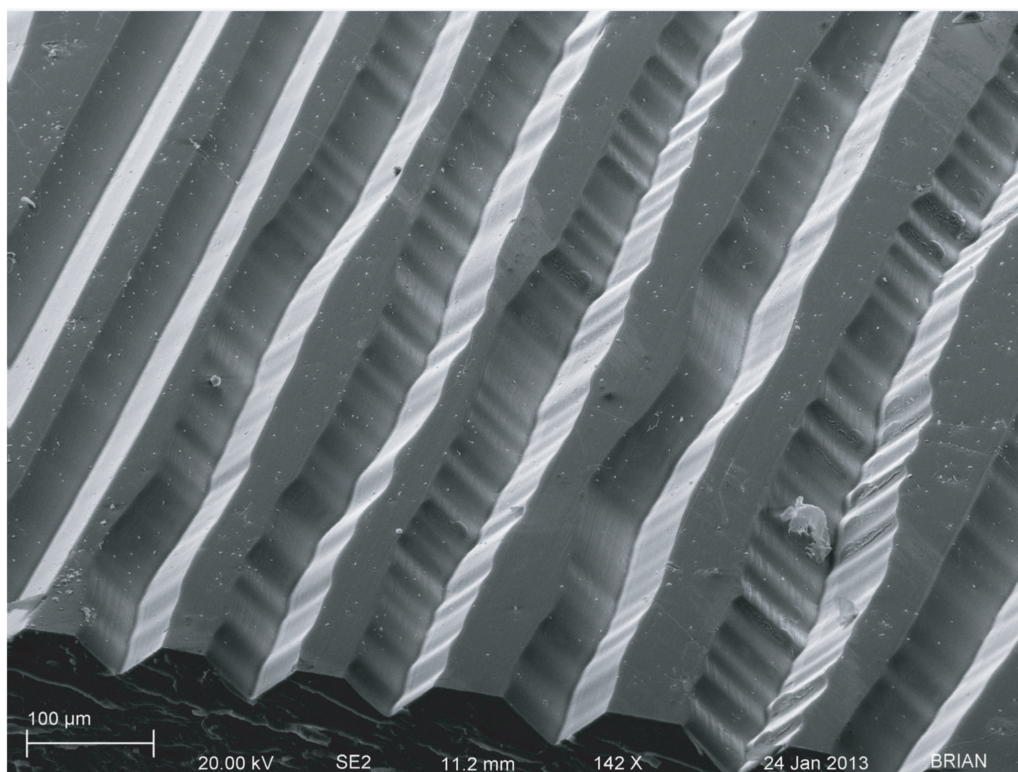
Câu đố 509 e

Mỗi sóng điều hoà được đặc trưng bằng một *tần số dao động* f, một *vận tốc truyền sóng hay vận tốc phase* c, một *bước sóng* λ, một biên độ A và một *phase* φ, như ta có thể suy ra từ Hình 205. Sóng nước có biên độ nhỏ là một thí dụ về sóng điều hoà – khác





HÌNH 206 Các kiểu thức dao động cơ bản đo được của một cái chuông. Chuông – giống như các nguồn dao động khác, như là một nguyên tử, một phân tử, một nhạc cụ hay giọng nói của người – đã chứng tỏ rằng mọi dao động trong thiên nhiên đều là sóng. (© H. Spiess & al.).



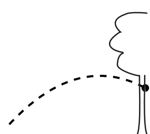
HÌNH 207 Tâm của các đường rãnh trong một đĩa hát vinyl cũ đã cho ta thấy biên độ của áp suất âm, được lấy trung bình trên 2 kênh stereo (hình chụp bằng kính hiển vi điện tử quét của © Chris Supranowitz/University of Rochester).

với sóng nước có biên độ lớn. Trong một sóng điều hoà, mỗi vị trí của nó thực hiện một dao động điều hoà. Phase của sóng xác định vị trí của sóng (hay một đỉnh sóng) tại thời điểm đã cho. Nó là một góc giữa 0 và 2π.

Vận tốc phase c là tốc độ chuyển động của cực đại của sóng. Một vài thí dụ được liệt kê trong Bảng 38. Bạn có thể chứng minh hệ thức giữa tần số và bước sóng là $f\lambda = c$ không?

Câu đố 510 e

Sóng xuất hiện trong mọi vật *linh hoạt* như chất rắn, lỏng, khí hay plasma. Trong lưu



BẢNG 38 Một số vận tốc sóng.

Sóng	Vận tốc
Sóng thần	khoảng 0.2 km/s
Âm trong phần lớn chất khí	0.3 ± 0.1 km/s
Âm trong không khí ở 273 K	0.331 km/s
Âm trong không khí ở 293 K	0.343 km/s
Âm trong helium ở 293 K	0.983 km/s
Âm trong phần lớn chất lỏng	1.2 ± 0.2 km/s
Sóng địa chấn	1 tới 14 km/s
Âm trong nước ở 273 K	1.402 km/s
Âm trong nước ở 293 K	1.482 km/s
Âm trong nước biển ở 298 K	1.531 km/s
Âm trong vàng	4.5 km/s
Âm trong thép	5.8 tới 5.960 km/s
Âm trong granite	5.8 km/s
Âm trong thuỷ tinh (dọc)	4 tới 5.9 km/s
Âm trong beryllium (dọc)	12.8 km/s
Âm trong boron	lên tới 15 km/s
Âm trong kim cương	lên tới 18 km/s
Âm trong fullerene (C_{60})	lên tới 26 km/s
Sóng Plasma trong InGaAs	600 km/s
Ánh sáng trong chân không	$2.998 \cdot 10^8$ m/s

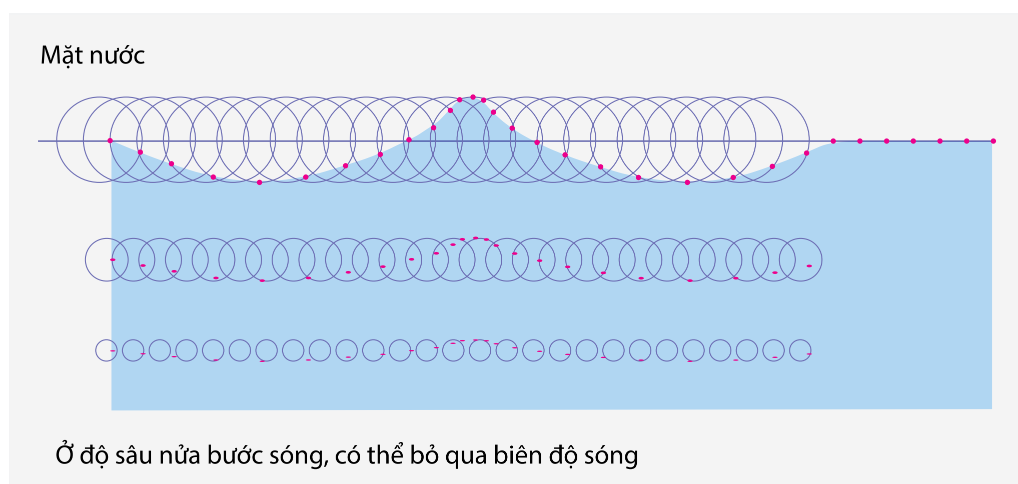
thể, sóng là *sóng dọc*, có nghĩa là phương chuyển động của sóng cùng phương với dao động sóng. Âm trong không khí là thí dụ về sóng dọc. Trong vật rắn, sóng có thể *truyền ngang*; trong trường hợp đó dao động sóng vuông góc với phương chuyển động.

Sóng cũng xuất hiện trên *mặt tiếp xúc* giữa 2 vật: mặt nước-không khí là một trường hợp nổi tiếng. Ngay cả mặt nước muối-nước tinh chất còn gọi là *nước chết*, cũng có sóng: chúng có thể xuất hiện ngay cả khi mặt trên của nước không chuyển động. Các chuyến bay trên phi cơ đều cho ta cơ hội nghiên cứu sự sắp xếp đều đặn của của mây trên mặt các lớp không khí ấm và lạnh trong khí quyển. Sóng địa chấn di chuyển dọc theo ranh giới giữa nền biển và nước biển cũng khá nổi tiếng. Sóng biển biên độ nhỏ là sóng ngang; tuy vậy, sóng mặt tổng quát thường không dọc cũng không ngang mà thuộc loại hỗn hợp. Để có ý tưởng ban đầu về sóng ta hãy xem sóng nước.

Sóng nước

Sóng trên mặt nước cho ta nhiều hiện tượng hấp dẫn. Trước tiên, có 2 loại sóng trên mặt nước. Trong loại đầu tiên, lực hồi phục mặt phẳng là lực căng mặt ngoài. Loại này được gọi là *sóng lực căng mặt ngoài* có tác dụng trong phạm vi vài cm. Trong loại sau, sóng lớn hơn, lực hồi phục là trọng lực, và ta nói về *sóng trọng lực*.* Ta có thể dễ dàng nhận ra

* Các nhà khí tượng học cũng biết về loại sóng nước thứ 3: đó là sóng có bước sóng lớn và lực hồi phục là lực Coriolis.



HÌNH 208 Sự hình thành hình dạng của sóng trọng lực dưới sâu, trên và dưới mặt nước, từ chuyển động tròn của các giọt nước. Hãy chú ý dạng của sóng không phải là hình sin.

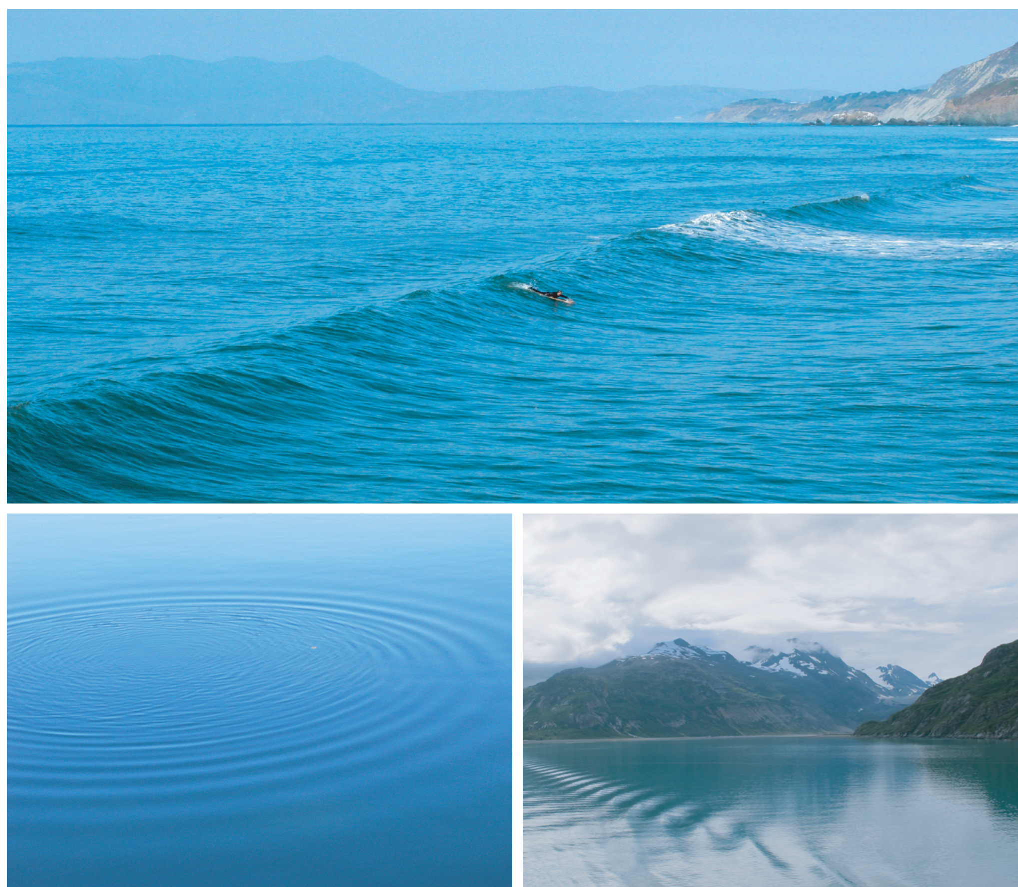
Trang 292 sự khác nhau bằng cách quan sát chúng: sóng lực căng mặt ngoài có dạng sin, trong khi sóng trọng lực có cực đại nhọn hơn và hõm sóng rộng hơn. Điều này do cách di chuyển đặc biệt của sóng. Như ta thấy trong Hình 208, nước trên mặt đối với sóng nước trọng lực (ngắn) chuyển động theo các vòng tròn; điều này dẫn tới hình dạng sóng điển hình có đỉnh sóng nhọn ngắn và hõm sóng nông dài: sóng không có đối xứng trên-dưới. Dưới các đỉnh sóng, các giọt nước chuyển động *theo hướng* chuyển động của sóng; dưới hõm sóng, các giọt nước chuyển động *ngược với* chuyển động của sóng. Khi không có gió và đáy nước nằm ngang, sóng trọng lực có đối xứng trước-sau. Nếu biên độ lớn hay gió quá mạnh, sóng sẽ vỡ ra vì góc đỉnh không thể lớn hơn 120°. Sóng như vậy không có đối xứng trước-sau.

Ngoài ra, sóng nước cần được phân biệt theo độ sâu của nước, khi so với bước sóng của chúng. Ta gọi là sóng *ngắn* hay sóng *nước sâu*, khi độ sâu của nước lớn đến mức đáy nước không có tác dụng gì. Trong trường hợp ngược lại ta gọi là sóng *dài* hay sóng *nước cạn*. Vùng chuyển tiếp giữa 2 trường hợp là sóng có bước sóng giữa 2 và 20 lần độ sâu của nước. Hoá ra mọi sóng sâu và gợn sóng đều có tính *tản mạn*, tức là tốc độ của chúng phụ thuộc vào tần số; chỉ có sóng nước trọng lực là *không tản mạn*.

Gió, bão, động đất, Mặt trời, Mặt trăng và các hiệu ứng khác có thể tạo ra sóng nước bằng cách làm cho nước dịch chuyển. Phổ của sóng nước đi từ chu kỳ ngắn hơn 100 ms tới chu kỳ dài hơn 24 h. Một tổng quan được cho trong Bảng 39. Bảng này cũng bao gồm các sóng ít được biết tới như sóng hạ trọng lực, sóng siêu trọng lực, thuỷ triều và sóng siêu thuỷ triều.

Sự phân loại sóng nước tuần hoàn theo lực hồi phục và ảnh hưởng của đáy nước cho ta *4* trường hợp giới hạn; chúng được trình bày trong Hình 210. Mỗi trường hợp giới hạn đều thú vị.

Thực nghiệm và lý thuyết đều chứng tỏ rằng tốc độ phase của *sóng trọng lực*, hai trường hợp trong hình dưới của Hình 210, phụ thuộc vào bước sóng λ và độ sâu của



HÌNH 209 Ba trong 4 loại sóng nước. Hình trên: sóng trọng lực ở vùng nước cạn, không phải hình sin. Hình dưới bên trái: gợn sóng ở vùng nước sâu – sóng lực căng mặt ngoài hình sin. Các gợn sóng ở vùng nước cạn không hiển thị ở đây trông cũng tương tự. Hình dưới bên phải: sóng trọng lực ở vùng nước sâu, đây là vết rẽ nước của tàu, không phải sóng hình sin. (© Eric Willis, Wikimedia, allyhook)

nước d theo công thức sau:

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{\lambda}}\ , \qquad (95)$$

trong đó g là gia tốc trọng lực (và biên độ nhỏ hơn bước sóng đã giả sử rất nhiều). *

Công thức cho ta thấy 2 chế độ giới hạn này.

Đầu tiên, sóng trọng lực *nước sâu* hay *ngắn* xuất hiện khi độ sâu của nước lớn hơn khoảng 1/2 bước sóng. Sóng biển thông thường là sóng trọng lực nước sâu và vết rẽ nước của tàu cũng vậy. Sóng trọng lực nước sâu do gió gây ra được gọi là sóng *biển* nếu chúng được gió địa phương tạo ra và sóng *cồn* nếu chúng do gió từ xa gây ra. Tốc độ phase của sóng trọng lực thường có cỡ của tốc độ gió tạo ra nó. Đối với sóng nước sâu, vận tốc

* Biểu thức cho vận tốc phase có thể tìm được bằng cách giải phương trình chuyển động của chất lỏng trong chế độ tuyến tính nhưng nó đưa ta đi quá xa.

BẢNG 39 Phổ sóng nước.

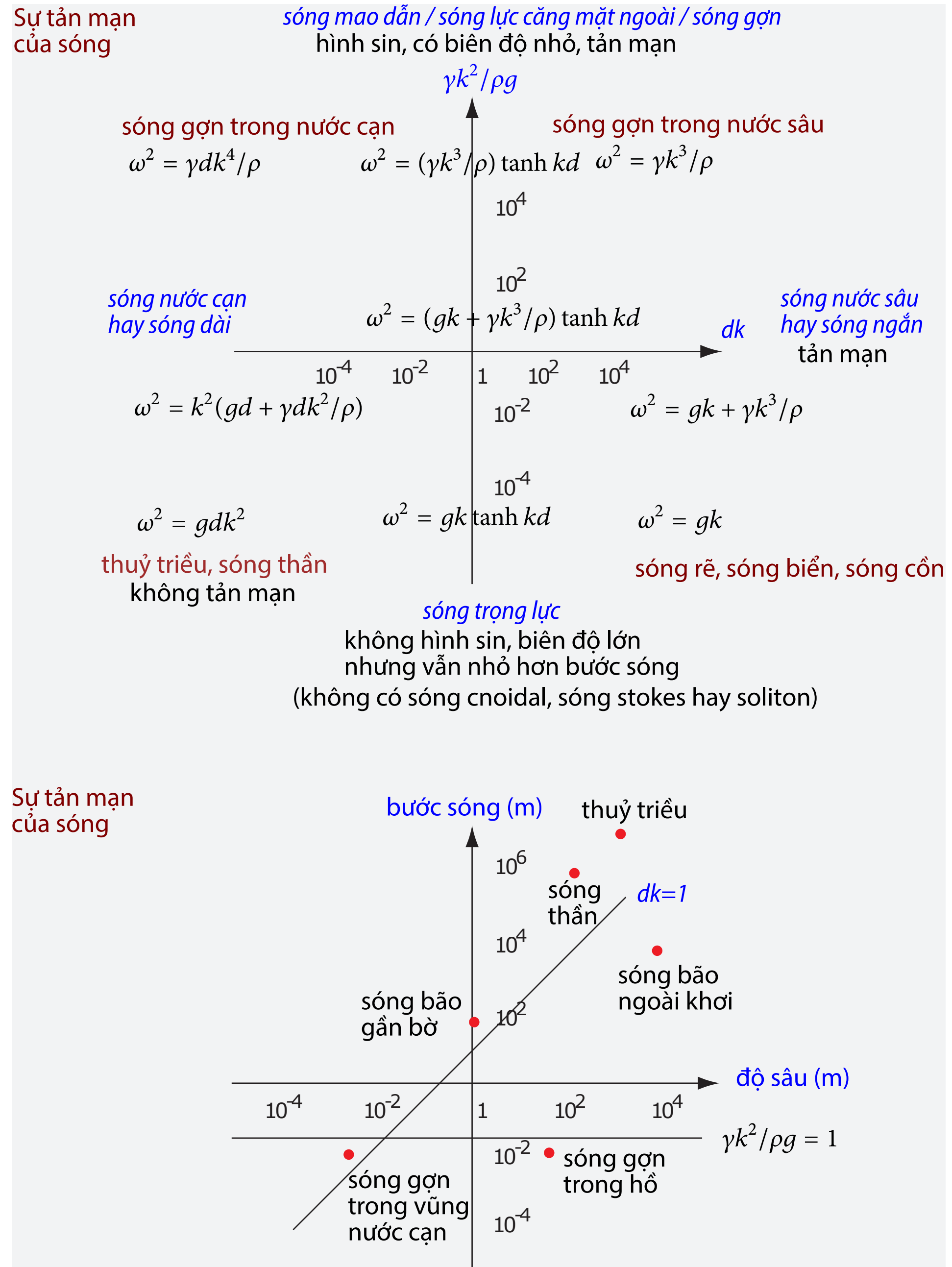
Kiểu	Chu kỳ	Tính chất	Nguyên nhân phát sinh
Sóng lực căng mặt ngoài / sóng mao dẫn / gợn sóng	< 0.1 s	bước sóng nhỏ hơn vài cm	gió có tốc độ hơn 1 m/s, các nhiễu loạn khác, nhiệt độ
Sóng siêu trọng lực	0.1 tới 1 s	lực hồi phục là sức căng mặt ngoài, trọng lực	gió, các nhiễu loạn khác
Sóng trọng lực thông thường	1 tới 30 s	biên độ lên tới nhiều m, lực hồi phục là trọng lực	gió
Sóng hạ trọng lực	30 s tới 5 phút	biên độ lên tới 30 cm, có liên hệ với giả triều ở hồ, lực hồi phục là trọng lực	gió, sóng trọng lực
Sóng dài	5 phút tới 12 h	biên độ dưới 10 cm trong nước sâu, lên tới 40 m trong nước cạn, lực hồi phục là trọng lực và hiệu ứng Coriolis	bão, động đất, thay đổi áp suất không khí
Thuỷ triều thông thường	12 h tới 24 h	biên độ phụ thuộc vị trí, lực hồi phục là trọng lực và hiệu ứng Coriolis	Mặt trăng, Mặt trời
Sóng siêu thuỷ triều	trên 24 h	biên độ phụ thuộc vị trí, lực hồi phục là trọng lực và hiệu ứng Coriolis	Mặt trăng, Mặt trời, bão, mùa, thay đổi khí hậu

phase liên hệ với bước sóng theo công thức $c \approx \sqrt{g\lambda/2\pi}$; như vậy vận tốc phase phụ
Trang 301 thuộc bước sóng. Đúng ra, mọi sóng sâu đều tản mạn. Như vậy sóng trọng lực sâu ngắn hơn thì chậm hơn. Vận tốc nhóm bằng *1/2* vận tốc phase. Do đó, như các người lướt sóng đã biết, sóng ở bờ biển bắt nguồn từ các cơn bão xa đến một cách riêng rẽ: đầu tiên là sóng dài rồi tới sóng ngắn. Tác dụng tổng quát của sự tản mạn lên nhóm sóng được biểu diễn trong Hình 211.

Đường rẽ nước của tàu được tạo thành từ những sóng có vận tốc phase của con tàu. Chúng tạo thành một nhóm sóng và di chuyển với tốc độ bằng 1/2 tốc độ phase. Do đó, từ điểm quan sát của con tàu, đường rẽ vạch ra con đường của con tàu. Đường rẽ ở sau con tàu vì vận tốc nhóm của chúng nhỏ hơn vận tốc phase của chúng. Ta sẽ tìm hiểu
Trang 327 thêm về các đường rẽ này sau đây.

Chế độ giới hạn thứ nhì là sóng trọng lực *nước cạn* hay *dài*. Chúng xuất hiện khi độ sâu nhỏ hơn 1/20 của bước sóng; trong trường hợp này, vận tốc phase là $c \approx \sqrt{gd}$, không có tản mạn và vận tốc nhóm *bằng* vận tốc phase. Trong sóng nước cạn, các giọt nước chuyển động theo các ellipse phẳng.

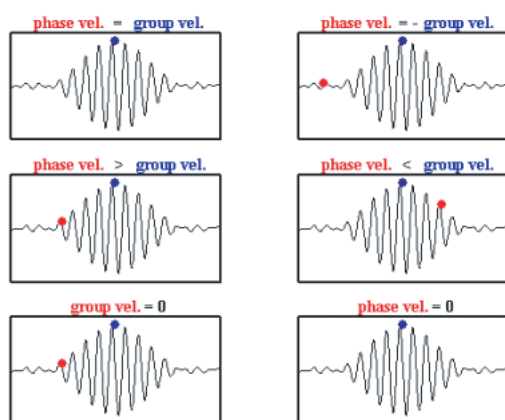
Thuỷ triều là thí dụ của sóng trọng lực cạn. Sóng trọng lực cạn ấn tượng nhất là *sóng thần*, các sóng lớn do các trận động đất ở dưới mặt nước kích khởi. (Tiếng Nhật gồm *tsu*, có nghĩa là cảng và *nami*, có nghĩa là sóng.) Vì sóng thần là sóng nước cạn, chúng không hay ít thể hiện sự tản mạn và như vậy chúng đi rất xa; chúng có thể đi vòng quanh



HÌNH 210 Các loại sóng nước tuần hoàn, với biên độ nhỏ và vừa phải, được biểu diễn dưới 2 dạng sơ đồ khác nhau theo độ sâu d, số sóng $k = 2\pi/\lambda$ và sức căng mặt ngoài γ =72 mPa.

Trái đất nhiều lần. Thời gian dao động điển hình của sóng thần là từ 6 tới 60 phút, bước sóng từ 70 tới 700 km và tốc độ ngoài biển khơi từ 200 tới 250 m/s, tương đương với tốc độ phi cơ phản lực. Biên độ của chúng trên biển thường vào cỡ 10 cm; tuy vậy, biên độ phụ thuộc độ sâu d theo tỷ lệ $1/d^4$ và có thể dâng cao 40 m tại bờ biển. Đây là bậc của

Câu đố 511 e



HÌNH 211 Minh hoạ của vận tốc nhóm (xanh) và vận tốc phase (đỏ) đối với các loại tản mạn sóng khác nhau. (QuickTime film © ISVR, University of Southampton)

độ lớn của sóng thần lớn đến mức khủng khiếp ở Ấn Độ Dương vào ngày 26/12/2004 và ở Nhật năm 2011 đã phá huỷ nhiều nhà máy điện hạt nhân. Sóng thần cũng có thể được sử dụng để đo độ sâu của biển bằng cách đo tốc độ của nó. Điều này cho phép các nhà nghiên cứu suy ra, trước cả sonar và các hệ công nghệ cao khác rất lâu, rằng Bắc Thái Bình Dương có độ sâu từ 4 tới 4.5 km.

Hai chế độ giới hạn trong Hình 210 là sóng lực căng mặt ngoài, còn gọi là *sóng mao dẫn* hay *sóng gợn*. Giá trị của lực căng mặt ngoài của nước là 72 mPa. Loại đầu tiên trong chế độ này là gợn sóng trên nước sâu. Vận tốc phase của chúng là $c = \sqrt{\gamma k/\rho}$. Như ta đã đề cập, mọi sóng sâu đều bị tản mạn. Thật vậy, vận tốc nhóm của các gợn sóng trên nước sâu là 3/2 vận tốc phase. Do đó bọt sóng gợn ở trước tàu trong khi đường rẽ lại ở phía sau. Câu đố 512 e

Gợn sóng nước sâu có tốc độ nhỏ nhất. Tốc độ cực tiểu của gợn sóng ngắn là lý do giải thích cho những gì ta thấy khi ném một *viên sỏi* vào hồ. Một viên sỏi tạo ra các gợn sóng có bước sóng khoảng 1 cm. Đối với sóng nước trong vùng này, có một vận tốc nhóm cực tiểu là 17.7 cm/s và một vận tốc phase cực tiểu khoảng 23 cm/s. Khi viên sỏi rơi vào nước, nó tạo ra sóng có bước sóng khác nhau; sóng có bước sóng khoảng 1 cm là sóng chậm nhất và thấy rõ nhất. Sự hiện hữu của vận tốc phase cực tiểu đối với gợn sóng cũng đồng nghĩa với việc côn trùng đi trên nước không tạo ra sóng nếu chúng di chuyển chậm hơn vận tốc phase cực tiểu; như vậy chúng cảm thấy ít bị cản và có thể đi bộ một cách dễ dàng. Câu đố 513 e Câu đố 514 e

Trường hợp giới hạn sau cùng của sóng là các gợn sóng trên nước cạn. Thí dụ như sóng do các giọt nước rơi vào một vũng nước cạn, có chiều sâu 1 mm hay ít hơn, phát ra. Vận tốc phase là $c = \sqrt{\gamma d k^2/\rho}$; vận tốc nhóm bằng 2 lần giá trị đó. Như vậy gợn sóng ở chỗ nước cạn bị tản mạn, giống như các gợn sóng trong nước sâu. Câu đố 515 e

Hình 210 cho ta thấy 4 loại sóng trên mặt nước đã được ta bàn cho tới bây giờ. Hệ thức tản mạn tổng quát đối với tất cả các sóng này là

$$\omega^2 = (gk + \gamma k^3/\rho) \tanh kd \; . \qquad (96)$$

Cũng có nhiều loại sóng nước phụ như *sóng dừng trong hồ*, *sóng nội* trong thuỷ hệ phân

tầng, và *sóng cô lập*, tức là sóng chạy không tuần hoàn. Ta sẽ tìm hiểu trường hợp sau cùng sau đây. Trang 315

Sóng và chuyển động của chúng

Sóng chuyển động. Do đó, một nghiên cứu về chuyển động phải bao gồm cả việc nghiên cứu chuyển động sóng. Qua kinh nghiệm ta đã biết rằng sóng có thể va chạm và ngay cả làm tổn hại các mục tiêu; như vậy sóng có mang theo năng lượng và động lượng, mặc dù (tính trung bình) không có vật chất chuyển động theo hướng truyền sóng. *Năng lượng* E của sóng là tổng động năng và thế năng của nó. (Mật độ) động năng phụ thuộc vào sự biến đổi của độ dời u theo thời gian tại điểm đã cho: sóng biến đổi càng nhanh thì mang theo năng lượng càng lớn. (Mật độ) thế năng phụ thuộc vào gradient của độ dời, tức là sự biến đổi của nó trong không gian: sóng ở nơi sâu mang nhiều thế năng hơn sóng ở nơi cạn. (Bạn có thể giải thích tại sao thế năng không phụ thuộc vào độ dời không?) Câu đố 516 s Đối với sóng điều hoà, tức là sóng sin, truyền theo hướng z, mỗi loại năng lượng đều tỷ lệ với bình phương của độ dời tương ứng: Xem 218

$$E \sim \left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)^2 + v^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 . \qquad (97)$$

Câu đố 517 ny Mối liên hệ giữa năng lượng và tần số là gì?

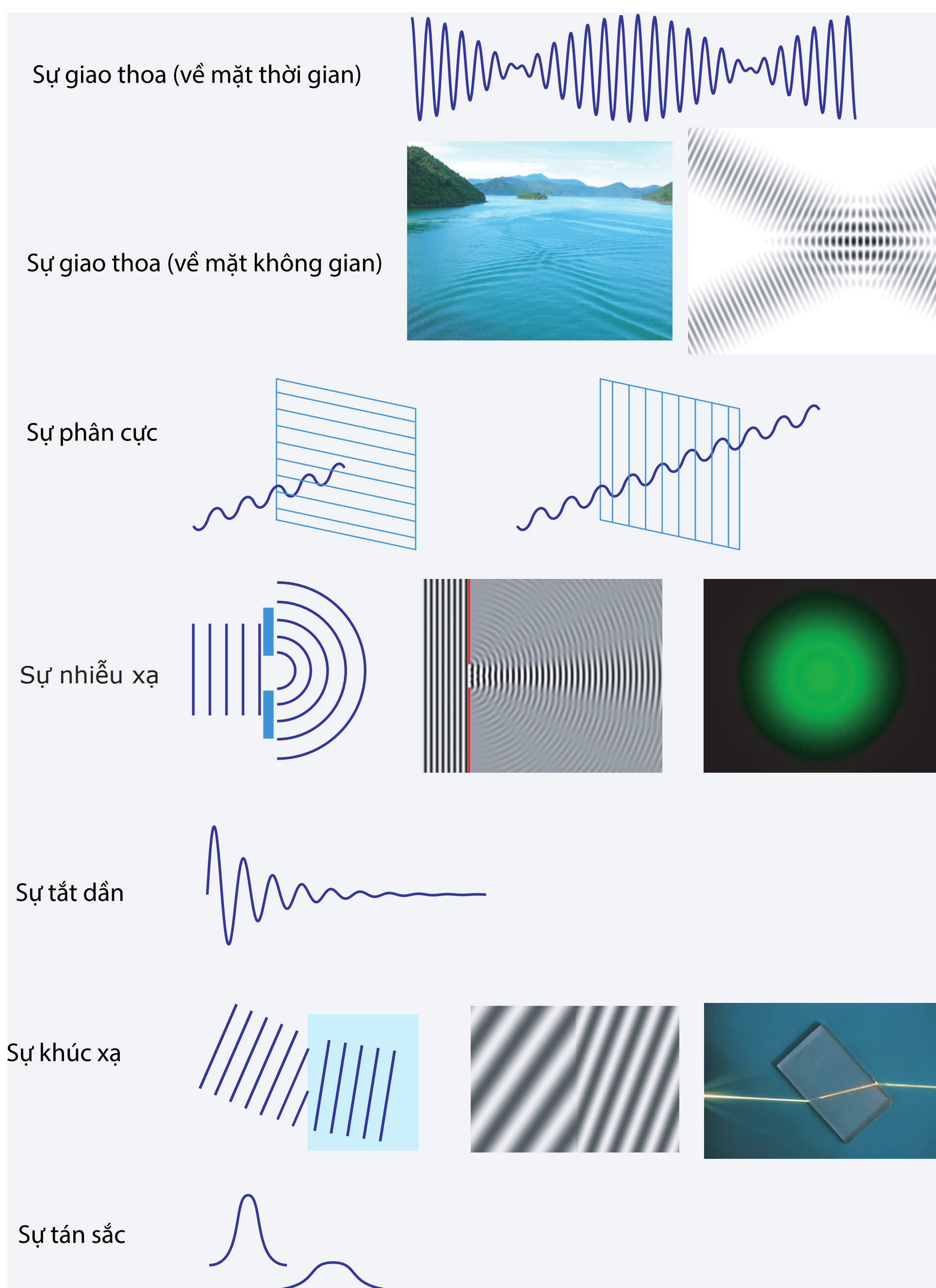
Động lượng của sóng hướng dọc theo hướng truyền sóng. Giá trị động lượng phụ thuộc vào độ biến thiên của độ dời u theo thời gian lẫn không gian. Đối với sóng điều hoà, (mật độ) động lượng P tỷ lệ với tích hai đại lượng này:

$$P_z \sim \frac{\partial u}{\partial t}\frac{\partial u}{\partial z} . \qquad (98)$$

Khi hai đoàn sóng thẳng va chạm hay giao thoa, tổng động lượng được bảo toàn trong va chạm. Một hệ quả quan trọng của sự bảo toàn động lượng là sóng bị phản xạ do một vật cản sẽ có góc phản xạ = (-)góc tới. Còn phase thì sao? Câu đố 518 s

Tóm lại, sóng giống như các vật chuyển động, mang theo năng lượng và động lượng. Nói một cách đơn giản, nếu bạn la to trước một bức tường, tường sẽ bị sóng âm chạm vào. Sự va chạm này có thể gây ra một vụ tuyết lở trên sườn núi. Tương tự như vậy, sóng cũng có thể mang moment động lượng. (Ta cần loại sóng nào để điều này có thể xảy ra?) Câu đố 519 s Tuy vậy, chuyển động sóng khác với chuyển động của vật thể. Có 6 tính chất chính phân biệt chuyển động sóng với chuyển động của vật thể.

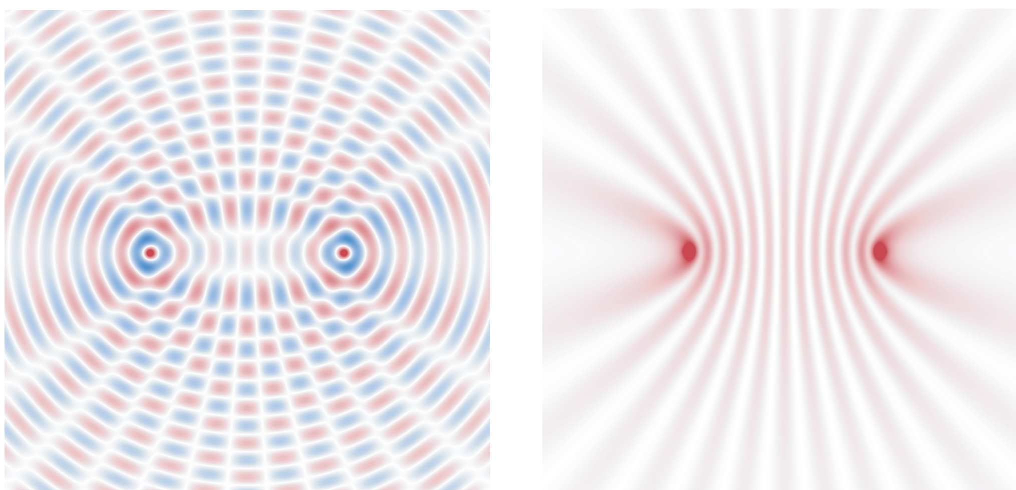
1. Sóng có thể cộng hay triệt tiêu lẫn nhau; như vậy chúng có thể xuyên qua nhau. Hiệu ứng này, *sự chồng chập* và *sự giao thoa* gắn chặt với tuyến tính của nhiều loại sóng.
2. Sóng, thí dụ như sóng âm, có thể đi vòng qua các góc. Hiện tượng này được gọi là *sự nhiễu xạ*. Nhiễu xạ là hệ quả của giao thoa nên nói một cách chặt chẽ nó không phải là một hiệu ứng riêng biệt.
3. Sóng đổi hướng khi thay đổi môi trường. Hiện tượng này được gọi là *sự khúc xạ*. Khúc xạ là trọng tâm của việc tạo ra hình ảnh.
4. Sóng có thể có tốc độ lan truyền phụ thuộc tần số. Hiện tượng này được gọi là *sự tán*



HÌNH 212 Sáu tính chất chính của chuyển động sóng. (© Wikimedia)

sắc (sự tản mạn). Nó tạo ra cầu vồng và tiếng sấm rền của những tia sét ở xa.

5. Thường thì biên độ sóng giảm dần theo thời gian: sóng *tắt dần*. Sự tắt dần tạo ra sự ngắt quãng giữa các từ.
6. Sóng ngang 3 chiều có thể dao động theo các hướng khác nhau: chúng thể hiện *tính*



HÌNH 213 Sự giao thoa của 2 sóng tròn hay 2 sóng cầu cùng phase: một ảnh chụp tức thời biên độ (hình bên trái), rất hữu ích cho việc mô tả các hiện tượng của sóng nước và sự phân bố cường độ trung bình theo thời gian (hình bên phải), rất hữu ích cho việc mô tả sự giao thoa của sóng ánh sáng (© Rüdiger Paschotta).

phân cực. Sự phân cực rất quan trọng đối với antenne và nhiếp ảnh.

Trong đời sống hằng ngày, khác với sóng, các vật thể chuyển động như hòn đá không thể hiện hiệu ứng nào trong 6 hiệu ứng trên. Chuyển động sóng có 6 tính chất này vì nó là chuyển động của các thực thể *linh hoạt*. Cuộc tranh cãi nổi tiếng về việc electron là sóng hay hạt đòi hỏi chúng ta kiểm tra xem 6 hiệu ứng đặc trưng cho sóng có xảy ra cho electron hay không. Việc tìm hiểu này là một phần của Vật lý lượng tử. Trước khi bắt đầu, bạn có thể cho một thí dụ về một quan sát tự động dẫn tới việc một chuyển động đặc biệt *không thể là* sóng hay không?

Câu đố 520 s

Kết quả của việc có một tần số f và vận tốc lan truyền hay vận tốc phase c, là mọi sóng sin đều được đặc trưng bằng một khoảng cách λ giữa 2 đỉnh sóng cạnh nhau: nó được gọi là bước sóng λ. Mọi sóng đều tuân theo hệ thức

$$\lambda f = c . \tag{99}$$

Trong nhiều trường hợp vận tốc phase c phụ thuộc vào bước sóng. Đây là trường hợp của nhiều loại sóng nước. Sự thay đổi tốc độ truyền theo bước sóng được gọi là *sự tán sắc/sự tản mạn*. Ngược lại tốc độ âm trong không khí *không phụ thuộc* bước sóng (với một độ chính xác cao). Âm trong không khí (hầu như) không tản mạn. Thật vậy, nếu có sự tản mạn âm, ta không thể hiểu lời nói của nhau khi ở xa.

Bây giờ mới là điều đáng kinh ngạc. Sóng có thể hiện hữu trong không gian trống rỗng. Ánh sáng, sóng vô tuyến và sóng hấp dẫn là các thí dụ. Việc nghiên cứu các hiện tượng điện từ và Thuyết tương đối sẽ cho ta biết nhiều hơn về các tính chất đặc biệt này. Đây chỉ là món khai vị. Ánh sáng là sóng. Thông thường ta không có kinh nghiệm về việc ánh sáng là sóng vì bước sóng của nó chỉ vào khoảng 2/1000 mm. Nhưng ánh sáng thể hiện đủ 6 hiệu ứng điển hình của sóng. Ta chỉ có thể hiểu được hiện tượng cầu vồng

Quyển III, trang 98

khi tính đến 5 hiệu ứng sau cùng. Chỉ bằng ngón tay của mình bạn cũng có thể quan sát được sự nhiễu xạ và giao thoa ánh sáng. Bạn có biết cách làm không?

Câu đố 521 s

Đối với sóng hấp dẫn, người ta đã quan sát được sự chồng chập, tắt dần và phân cực. Ba hiệu ứng khác vẫn chưa quan sát được.

Giống như dao động không điều hoà, mỗi sóng không điều hoà đều có thể phân tích thành các sóng sin. Hình 205 đã cho các thí dụ. Nếu các sóng sin khác nhau trong một nhiễu loạn lan truyền khác nhau, sóng ban đầu sẽ thay đổi trong khi lan truyền. Đó là lý do tiếng vang nghe không giống như âm gốc; với lý do tương tự, tiếng sấm ở gần và ở xa nghe sẽ khác nhau. Đây là hiệu ứng – khá yếu – tản mạn của sóng âm.

Trang 292

Mọi hệ dao động cũng *phát ra sóng*. Một radio hay TV đều chứa các bộ dao động. Kết quả là một máy thu sóng như vậy cũng là một máy phát sóng (yếu); thật vậy, trong một số quốc gia, nhà chức trách tìm những người nghe radio trái phép bằng cách lắng nghe sóng vô tuyến do các thiết bị này phát ra. Tương tự bên trong tai người, có nhiều cấu trúc li ti, các tế bào lông, dao động. Kết quả, tai cũng phát ra âm. Tiên đoán này là của Tommy Gold đưa ra năm 1948, sau cùng đã được David Kemp xác nhận vào năm 1979. *Sự phát xạ nội âm* có thể được dò ra nhờ các micro thật nhạy; hiện nay chúng được nghiên cứu để minh giải các hoạt động chưa biết của tai và để chẩn đoán các bệnh về tai mà không cần phẫu thuật.

Xem 219

Vì một nhiễu loạn di chuyển có thể phân tích thành các sóng sin, thuật ngữ 'sóng' được các nhà vật lý dùng để chỉ mọi loại nhiễu loạn di chuyển, bất kể chúng có giống sóng sin hay không. Đúng ra, các nhiễu loạn cũng không phải là đang di chuyển. Lấy trường hợp sóng dừng: nó là một sóng hay một dao động? Sóng dừng không di chuyển; chúng là các dao động. Nhưng một sóng dừng có thể được xem như là sự chồng chập 2 sóng chuyển động ngược chiều nhau. Đúng ra trong thiên nhiên một vật bất kỳ 'dao động' hay 'rung động' có tính linh hoạt và dao động của nó luôn luôn là sóng dừng (Bạn có thể chứng minh điều này không?); như vậy ta có thể nói rằng trong thiên nhiên, *mọi dao động đều là các dạng đặc biệt của sóng.*

Câu đố 522 e

Trang 292

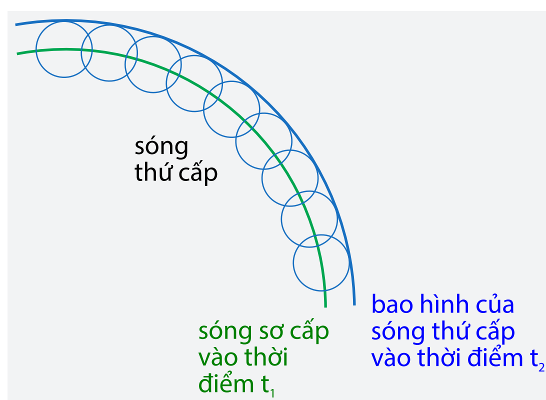
Nhiễu loạn chuyển động quan trọng nhất là các nhiễu loạn định xứ. Hình 205 cho ta một thí dụ về sóng định xứ, còn gọi là *nhóm sóng* hay *xung*, cùng với việc khai triển nó thành các sóng điều hoà. Nhóm sóng được sử dụng để nói và là các tín hiệu truyền thông.

Tại sao chúng ta có thể nói chuyện với nhau? – Nguyên lý Huygens

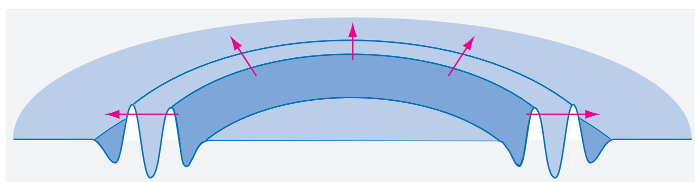
Các tính chất của môi trường thường để lộ sự quan trọng của chúng chỉ khi ta đặt những câu hỏi đơn giản. Tại sao ta có thể sử dụng radio? Tại sao ta có thể nói trên mobile phones? Tại sao ta có thể nghe được người khác nói? Hoá ra phần quan trọng của câu trả lời đối với các câu hỏi này là không gian mà ta đang sống có số chiều *lẻ*.

Trong không gian có số chiều *chẵn*, ta không thể nói chuyện vì các thông điệp không ngừng lại – hay ngừng rất chậm. Đây là một kết quả quan trọng mà ta có thể kiểm chứng dễ dàng bằng cách ném một hòn đá vào hồ: ngay sau khi hòn đá biến mất sóng vẫn còn phát ra từ nơi hòn đá rơi xuống nước. Tuy vậy, khi ta ngừng nói, không còn sóng từ miệng ta phát ra nữa. Tóm lại, sóng trong không gian 2 và 3 chiều hành xử khác nhau.

Trong không gian 3 chiều ta không thể mô tả sự lan truyền của sóng theo cách sau: mọi điểm trên mặt sóng (của ánh sáng hay âm) có thể xem như nguồn của *các sóng thứ*



HÌNH 214 Sự lan truyền của sóng là một hệ quả của nguyên lý Huygens.



HÌNH 215 Một điều mà sóng nước trọng lực không thể có: tâm phẳng hoàn toàn.

cấp; mặt bao hình của mọi sóng thứ cấp xác định vị trí tương lai của mặt sóng. Ý tưởng này được minh hoạ trong Hình 214. Ta có thể sử dụng nó để mô tả mà không cần Toán học, sự lan truyền của sóng, sự phản xạ, khúc xạ, và với sự mở rộng do Augustin Fresnel, sự nhiễu xạ của sóng. (Bạn hãy thử xem!)

Câu đố 523 e

Ý tưởng về sóng thứ cấp được Christiaan Huygens để nghị lần đầu tiên vào năm 1678 và được gọi là *nguyên lý Huygens*. Gần 200 năm sau, Gustav Kirchhoff đã chứng tỏ rằng nó là hệ quả của phương trình sóng trong không gian 3 chiều và trong trường hợp ánh sáng nó là hệ quả của các phương trình Maxwell.

Nhưng việc mô tả các mặt sóng là bao hình của các sóng thứ cấp có một giới hạn quan trọng. Nó *không đúng* trong trường hợp 2 chiều (mặc dù Hình 214 là hình 2 chiều!). Đặc biệt, nó không thể áp dụng cho sóng nước. Sự lan truyền của sóng nước *không thể* tính toán được theo cách này một cách chính xác. (Ta chỉ có thể áp dụng trong không gian 2 chiều nếu sóng chỉ có 1 tần số.) Hoá ra đối với sóng nước, sóng thứ cấp không chỉ phụ thuộc mặt sóng sơ cấp mà còn phụ thuộc phần bên trong của chúng. Lý do là trong trường hợp 2 (hay số chẵn) chiều, sóng tần số khác nhau nhất thiết phải có *tốc độ khác nhau*. (Sóng thần không phải là một phản thí dụ; việc chúng không tản mạn là một trường hợp giới hạn.) Và đúng ra một hòn đá rơi xuống nước có thể so với một tiếng nổ: nó tạo ra các sóng có nhiều tần số. Trái lại, trong trường hợp 3 (hay số lẻ) chiều, sóng mọi tần số đều có cùng tốc độ.

Về mặt Toán học, ta có thể nói rằng nguyên lý Huygens chỉ đúng nếu lời giải phương trình sóng là sóng tròn có biên độ bằng 0 ở phía sau nó. Các toán gia diễn dịch điều này thành điều kiện hàm delta liên quan $\delta(c^2t^2 - r^2)$ phải thoả phương trình sóng, tức là $\partial_t^2\delta = c^2\Delta\delta$. Hàm delta là một 'hàm' kỳ dị khi nó bằng 0 ở mọi nơi trừ điểm gốc là nơi

nó dần tới vô hạn. Còn một số tính chất nữa mô tả chính xác điều này.* Tóm lại, hàm delta là một tiếng nổ được lý tưởng hoá, ngắn vô hạn và lớn vô hạn. Hoá ra hàm delta là một lời giải của phương trình sóng chỉ khi số chiều của không gian là lẻ và ít nhất là 3. Nói cách khác, trong khi ta có thể có một xung sóng *cầu* thì không thể có một xung sóng *tròn*: không có cách nào để giữ cho tâm của một sóng đang lan ra đứng yên. (Xem Hình 215.) Đó đúng là những gì mà ta thấy trong thí nghiệm hòn đá. Bạn có thể thử tạo
Câu đố 524 e ra một xung tròn (sóng chỉ có vài đỉnh) lúc ở trong phòng tắm hay ở gần một cái hồ: bạn sẽ thất bại.

Tóm lại, lý do một căn phòng trở nên tối đen khi ta tắt đèn là ta sống trong một không gian có số chiều lẻ và lớn hơn 1.

Phương trình sóng

**

Sóng là một hiện tượng quyến rũ và sự mô tả toán học của chúng cũng vậy.

Biên độ $A(\boldsymbol{x}, t)$ của sóng thẳng trong không gian 1, 2 hay 3 chiều, loại sóng đơn giản nhất là kết quả của phương trình

$$\frac{\partial^2 A(\boldsymbol{x}, t)}{\partial t^2} = v^2 \nabla^2 A(\boldsymbol{x}, t) \ . \tag{100}$$

Gia tốc của biên độ (số hạng ở vế trái) bằng gradient bình phương, tức là độ biến thiên trong không gian, nhân với bình phương của vận tốc phase v. Trong nhiều trường hợp, biên độ là một vector nhưng phương trình cũng giống như vậy. Nói chính xác hơn, biên độ của sóng được các nhà vật lý gọi là *trường*, vì nó là một số (vector hay tensor) phụ thuộc vào không gian và thời gian.

Phương trình (100) là một *phương trình sóng*. Về mặt toán học, nó là một *phương trình vi phân riêng phần tuyến tính*. Nó được gọi là *tuyến tính* vì biên độ A của nó tuyến
Câu đố 525 e tính. Do đó, lời giải của nó là sóng sin và cosin thuộc loại $A = \sin(x - vt + \varphi)$. Phương trình sóng tuyến tính suy ra từ tính đàn hồi của một số môi trường. Tính thẳng cũng hàm ý rằng tổng của 2 sóng cũng là một sóng; điều này được gọi là *nguyên lý chồng chập* đúng cho mọi phương trình sóng tuyến tính (và một ít rất hiếm, nhưng quan trọng, các phương trình sóng không tuyến tính). Nếu tính này được áp dụng, mỗi sóng tổng quát đều có thể *phân tích* thành tổng vô hạn của các sóng sin và cosin. Khám phá này bắt nguồn từ Joseph Fourier (b. 1768, Auxerre, d. 1830, Paris).

Phương trình sóng (100) cũng có *tính thuần nhất*, tức là không có số hạng độc lập với A, và như vậy, không có nguồn năng lượng điều khiển sóng. Khai triển Fourier cũng giúp cho việc tìm hiểu và giải các phương trình sóng không thuần nhất, tức là môi trường đàn hồi được điều khiển từ bên ngoài.

Trong trường hợp nhiều chiều, hình dạng của mặt sóng cũng đáng quan tâm. Trong trường hợp 2 chiều, phương trình (100) đơn giản nhất là các sóng *thẳng* và sóng *tròn*.
Câu đố 526 e Câu đố 527 e Trong trường hợp 3 chiều, phương trình (100) đơn giản nhất là sóng *phẳng* và sóng *cầu*.

Trong các điều kiện thích hợp – môi trường đàn hồi hữu hạn và được kích thích theo
Câu đố 528 e những cách đặc biệt – phương trình (100) cũng dẫn tới các sóng *dừng*. Sóng dừng là sự

* Tính chất chính là $\int \delta(x)\, dx = 1$. Theo thuật ngữ toán học chính xác, 'hàm' delta là một *hàm suy rộng*.
** Phần này có thể bỏ qua trong lần đọc đầu tiên.

BẢNG 40 Một số tín hiệu.

Hệ	Tín hiệu	Tốc độ	Bộ cảm biến
Tín hiệu vật chất			
Con người	xung hiệu thế trong dây thần kinh	lên tới 120 m/s	não, bắp thịt
	hormone trong mạch máu	lên tới 0.3 m/s	các phân tử trên màng tế bào
	tín hiệu của hệ miễn dịch	lên tới 0.3 m/s	các phân tử trên màng tế bào
	tiếng hát	340 m/s	tai
Voi, côn trùng	sự rung của đất	*c.* 2 km/s	chân
Cá voi	tiếng thở, sonar	1500 m/s	tai
Chó	vết hoá chất	1 m/s	mũi
Bướm	tín hiệu giao phối hoá học do gió mang đi	lên tới 10 m/s	antenne
Thực vật	tín hiệu tấn công hoá học do không khí mang từ cây này sang cây kia	lên tới 10 m/s	lá
Các khối trôi dạt	do băng hà mang đi	lên tới 0.1 μm/s	chân
Thư tín	chữ trên giấy do xe tải, tàu thuyền và phi cơ chuyên chở	lên tới 300 m/s	hộp thư
Trường điện từ			
Con người	ngáp	300 Mm/s	mắt
Lươn điện	xung hiệu thế	lên tới 300 Mm/s	dây thần kinh
Côn trùng, cá, nhuyễn thể	chuỗi xung ánh sáng	lên tới 300 Mm/s	mắt
Cờ hiệu	hướng của cờ	300 Mm/s	mắt
Sự truyền sóng vô tuyến	cường độ điện từ trường	lên tới 300 Mm/s	radio
Tín hiệu hạt nhân			
Siêu tân tinh	xung neutrino	gần 300 Mm/s	các máy dò hoá chất và bức xạ đặc biệt
Phản ứng hạt nhân	glueball, nếu có	gần 300 Mm/s	các máy phát hiện hạt đặc biệt

chồng chập của các sóng chuyển động theo các hướng ngược nhau.

Âm trong chất khí, chất lỏng và chất rắn, động đất, ánh sáng trong chân không, sóng

nước có biên độ nhỏ và các trường hợp khác có biên độ nhỏ đều được mô tả bằng các phương trình sóng *tuyến tính*.

Về mặt toán học, các phương trình sóng, dù tuyến tính hay không, đều là các phương trình vi phân riêng phần *hyperbolic*. Điều này chỉ có nghĩa là đạo hàm bậc 2 không gian trái dấu với đạo hàm bậc 2 thời gian. Cho tới đây, các phương trình sóng thú vị nhất thì *không tuyến tính*. Phương trình không tuyến tính nổi tiếng nhất là *phương trình Korteweg–de Vries*, là phương trình sóng 1 chiều

$$\partial_t A + A\partial_x A + b\partial_{xxx} A = 0 \,. \qquad (101)$$

Người ta đã muộn màng khám phá ra là phương trình tiến hoá của trường $A(x,t)$ này có thể giải được bằng giấy và viết chì. Trang 316

Các phương trình sóng không tuyến tính khác mô tả các trường hợp đặc biệt. Phương trình Boussinesq, phương trình sine–Gordon và nhiều phương trình sóng khác đã châm ngòi cho một lĩnh vực nghiên cứu rộng lớn trong Vật lý toán học và thực nghiệm. Các phương trình vi phân riêng phần phi tuyến cũng có vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu sự tự tổ chức. Trang 414

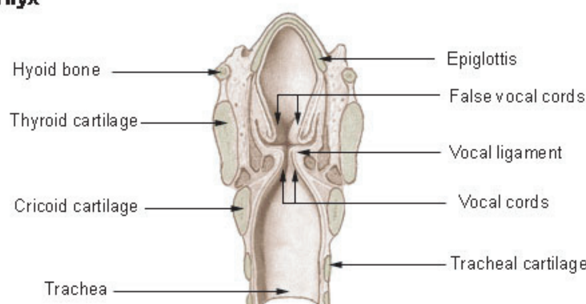
Tại sao âm nhạc và tiếng hát lại nên thơ như vậy?

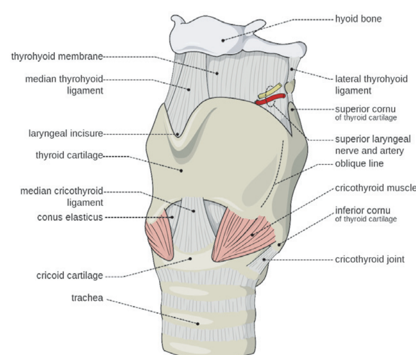
Âm nhạc có ảnh hưởng vì nó kết nối các cảm xúc. Và ảnh hưởng đó là gợi lại cho ta những âm thanh (và cảm xúc gắn liền với chúng) mà ta đã trải nghiệm trước khi ra đời. Các nhạc cụ gõ gợi cho chúng ta nhớ về nhịp tim của mẹ và chính chúng ta. Các nhạc cụ dây và gió gợi lại các âm thanh mà ta đã nghe lúc đó. Các nhạc cụ sẽ tuyệt mỹ nếu chúng được điều tiết bằng cơ thể và nghệ thuật của nghệ nhân. Mọi nhạc cụ cổ điển đều được tối ưu hoá cho việc điều tiết và biểu hiện tình cảm này. Sự kết nối giữa nhạc sĩ và nhạc cụ sẽ mãnh liệt nhất đối với giọng người; kế đó là các nhạc cụ gió.

Mỗi nhạc cụ, bao gồm giọng người, gồm có 4 yếu tố: nguồn năng lượng, nguồn âm dao động, một hay hai hộp cộng hưởng, và một mặt hay miệng bức xạ. Trong giọng người, nguồn năng lượng được tạo thành từ các cơ ngực và bụng, nguồn âm là các nếp thanh âm – còn gọi là thanh đới – hộp cộng hưởng là thanh quản, và mũi miệng tạo thành khí khổng.

Hơi thở của ca sĩ hay những nhạc sĩ nhạc cụ gió cung cấp năng lượng cho việc tạo âm và nhập lượng cho vòng hồi dưỡng tạo ra cao độ âm. Trong khi hát, không khí đi qua thanh đới. Các dòng khí nhanh làm giảm áp suất không khí, khiến cho các thanh đới hút nhau và thiết diện ngang của dòng khí giảm đi. (Sự giảm áp suất này được mô tả bằng phương trình Bernoulli, sẽ được giải thích sau đây.) Trang 360 Kết quả của việc giảm thiết diện ngang là luồng khí giảm đi, áp suất tăng lên lại và thanh đới lại mở ra. Điều này khiến luồng khí tăng lên và chu trình lặp lại. Sự thay đổi khoảng cách giữa các thanh đới được lặp lại nhanh đến nỗi âm được tạo ra; âm này được khuếch đại trong miệng nhờ sự cộng hưởng phụ thuộc vào hình dạng khoang miệng. Xem 220 Sử dụng từ ngữ hiện đại, việc hát một nốt nhạc đều đặn là một trường hợp đặc biệt của sự tự tổ chức, cụ thể là một thí dụ về chu trình giới hạn. Trang 414

Nhưng làm cách nào mà một cơ quan nhỏ bé như thanh quản lại tạo được các âm thanh mạnh hơn kèn trombone có chiều dài nhiều mét? Tiếng nói đã bao trùm một khoảng cường độ 80 dB như thế nào? Làm cách nào giọng hát đã đạt tới 5 hay ngay cả 8





HÌNH 216 Thanh quản của người là một phần của cơ thể chứa nguồn âm của tiếng nói, các thanh đới (© Wikimedia).

octave trong tần số cơ bản trong khi chỉ có 2 thanh đới? Và làm cách nào con người tạo ra được sự phong phú về âm sắc mà không có gì sánh kịp? Nhiều chi tiết của các câu hỏi này vẫn còn là chủ đề nghiên cứu mặc dù người ta đã biết được các đầu mối tổng quát.

Kích thước trung bình của các nếp thanh âm vào cỡ móng tay của ngón cái nhưng chúng có thể thay đổi chiều dài và độ căng. Thanh đới có 3 phần. Trước hết, chúng chứa dây chằng có thể chịu được sức căng hay ứng suất lớn và tạo thành kết cấu cơ bản; ta cần một dây chằng như vậy để có thể đạt được một khoảng tần số rộng. Thứ 2, 90 % thanh đới là bắp thịt để cho ứng suất và khoảng tần số có thể tăng lên cao hơn. Sau cùng, thanh đới được phủ một lớp niêm mạc, một màng chứa chất lỏng được tối ưu hoá để dao động, thông qua sóng mặt, khi có không khí đi qua. Hệ phi tuyến mạnh mẽ này, ở những ca sĩ đặc biệt, có thể đạt tới 5 octave trong phạm vi các cao độ cơ bản.

Bộ cộng hưởng của người cũng khác thường. Dù kích thước nhỏ, các tính chất phi tuyến của bộ cộng hưởng trong thanh quản – đặc biệt tác dụng được gọi là *quán trở* – cũng cho phép tạo ra được các âm có cường độ lớn. Hệ thống phức tạp này cộng thêm sự khổ luyện sẽ tạo ra được các tần số, âm sắc và các tiếp khúc mà chúng ta thưởng thức ở các buổi nhạc kịch, nhạc jazz và các buổi trình diễn âm nhạc khác. Đúng ra nhiều kết quả từ các nghiên cứu về giọng người – cũng như kết quả thu được nhờ phương pháp chụp ảnh cộng hưởng từ – thường được sử dụng để huấn luyện và hướng dẫn cho ca sĩ, đặc biệt trong việc hát mở hay khép miệng hay khi hạ thấp thanh quản.

Vẻ đẹp của hát ca cũng bắt nguồn từ các hiệu ứng phi tuyến. Mọi nhạc cụ đều là các



Equal-tempered frequency ratio	1	1.059	1.122	1.189	1.260	1.335	1.414	1.498	1.587	1.682	1.782	1.888	2
Just intonation frequency ratio	1		9/8	6/5	5/4	4/3	none	3/2	8/5	5/3		15/8	2
Appears as harmonic nr.	1,2,4,8		9		5, 10			3, 6			c. 7	15	1,2,4,8
Italian and international solfège names	**Do** Si#	Do# Reb	**Re**	Re# Mib	**Mi** Fab	**Fa** Mi#	Fa# Solb	**Sol**	Sol# Lab	**La**	La# Sib	**Si** Do b	**Do** Si#
French names	Ut Si#	Ut # Reb	Re	Re# Mib	Mi Fab	Fa Mi#	Fa# Solb	Sol	Sol# Lab	La	La# Sib	Si Ut b	Ut Si#
German names	C His	Cis Des	D	Dis Es	E Fes	F Eis	Fis Ges	G	Gis As	A	Ais B	H Ces	C His
English names	C B#	C# Db	D	D# Eb	E Fb	F E#	F# Gb	G	G# Ab	A	A# Bb	B Cb	C B#
Interval name, starting from Do / Ut / C	uni-son	min. 2nd	maj. 2nd	min. 3rd	maj. 3rd	4th	triton	5th	min. 6th	maj. 6th	min. 7th	maj. 7th	octave
Pianoforte keys													

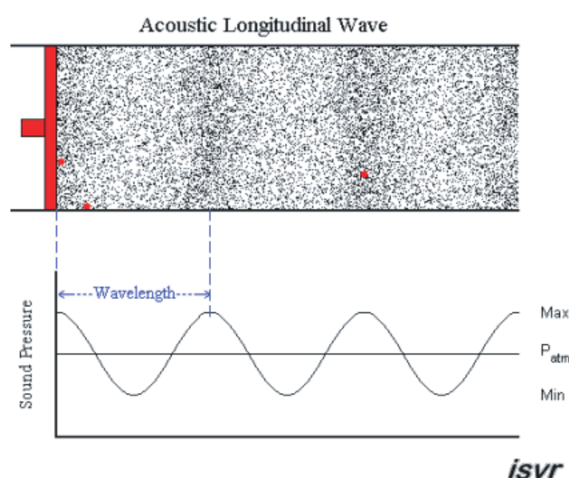
HÌNH 217 Mười hai nốt được sử dụng trong âm nhạc và các tỷ số tần số của chúng.

Xem 221

bộ dao động phi tuyến. Trong *nhạc cụ có lưỡi gà*, như clarinet, lưỡi gà có vai trò của thanh đới và các đường ống đóng vai trò hộp cộng hưởng và các cơ cấu thay đổi các khe hở đóng vai trò của miệng và môi. Trong *nhạc cụ đồng*, như trombone, môi đóng vai trò của lưỡi gà. Trong *nhạc cụ gió*, như sáo, vòng hồi dưỡng bắt nguồn từ hiệu ứng khác: ở cạnh tạo ra âm thanh, luồng khí bị âm làm lệch đi.

Lý do thứ nhì của vẻ đẹp âm nhạc bắt nguồn từ phương thức lựa chọn tần số của các nốt nhạc. Tần số nghe êm tai khi các nốt được đánh lên cùng nhau hay liên tiếp nhau; nếu khác đi sẽ gây ra cảm giác căng thẳng. Người Hy Lạp cổ xưa đã khám phá ra rằng cảm giác này chỉ phụ thuộc vào *tỷ số* của các tần số, hay như các nhạc sĩ nói, vào *các quãng* giữa các cao độ.

Đặc biệt hơn, tỷ số tần số bằng 2 – nhạc sĩ gọi quãng này là một *quãng 8* – là quãng thuận tạo ra sự êm tai nhiều nhất. Tỷ số 3/2 (được gọi là quãng 5 đúng) là quãng êm tai kế đó, tiếp theo là tỷ số 4/3 (quãng 4 đúng), tỷ số 5/4 (quãng 3 trưởng) và tỷ số 6/5 (quãng 3 thứ). Sự lựa chọn quãng 3 đầu tiên trong một thang âm có tác dụng quan trọng đến xúc cảm bình thường mà bản nhạc biểu thị và trong việc tiếp nhận tên hiệu của thang âm. Những bài hát cung Do trưởng thường có giai điệu vui vẻ trong khi những bài hát



HÌNH 218 Một sơ đồ biểu diễn chuyển động của các phân tử không khí trong sóng âm (QuickTime film © ISVR, University of Southampton)

cung La thứ nghe buồn hơn.

Tỷ số tần số ít êm tai nhất, quãng nghịch, là *quãng 3 cung* (7/5, còn gọi là *quãng 4 tăng* hay *quãng 5 giảm* hay *quãng 5 sai*) và ở mức độ ít hơn, quãng 7 trưởng và thứ (15/8 và 9/5). Quãng 3 cung được sử dụng trong tiếng còi xe hồng thập tự ở Đức. Những tiếp khúc dài của các quãng nghịch có tác dụng tạo ra sự say đắm; chúng phổ biến trong nhạc của người Bali và nhạc jazz.

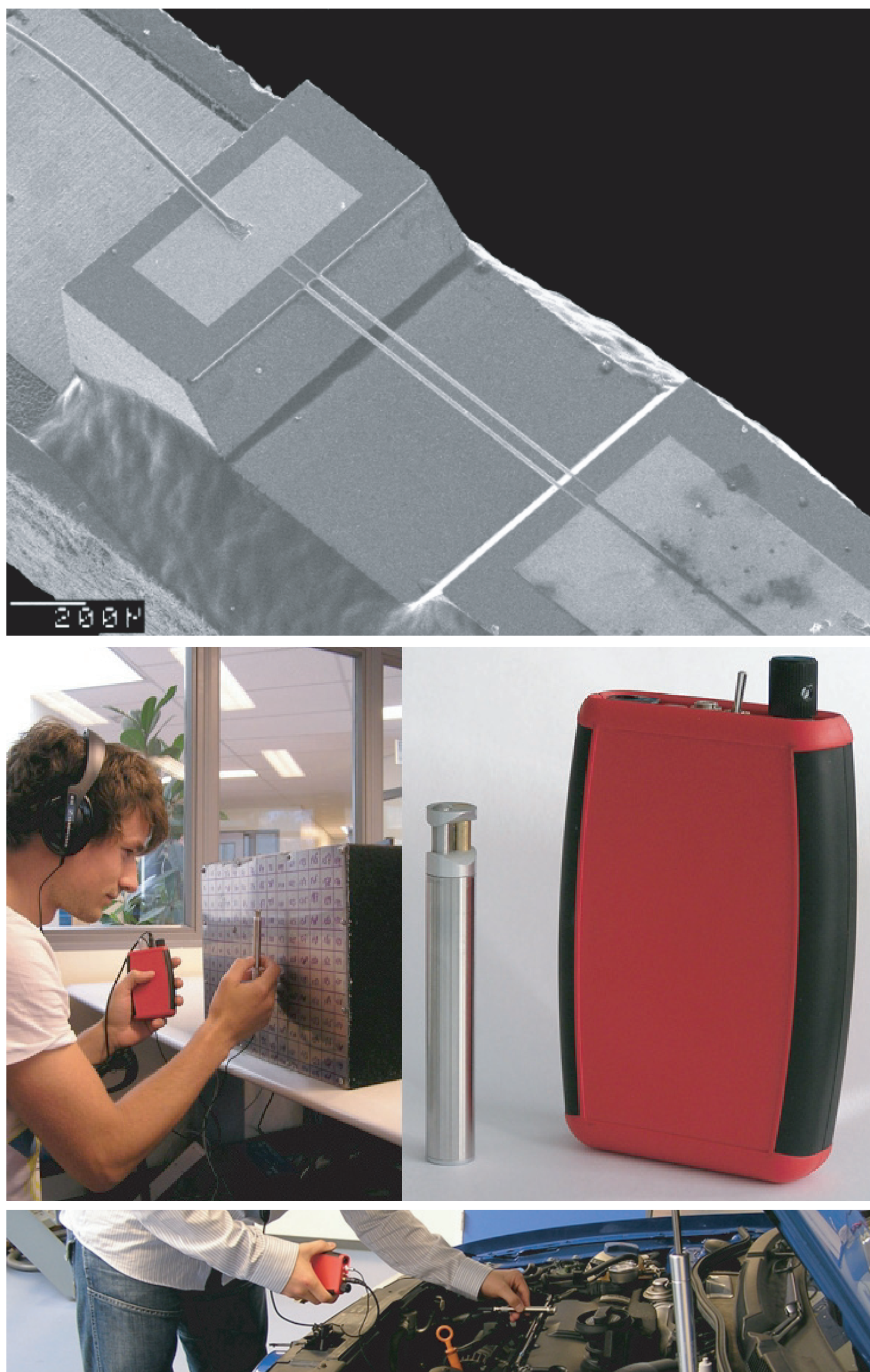
Sau nhiều thế kỷ thử nghiệm, các kết quả này dẫn tới sự sắp xếp theo tiêu chuẩn các nốt nhạc và các tần số như được trình bày trong Hình 217. Sự sắp xếp này được gọi là *sự chuẩn âm cân bằng* hay *sự chuẩn âm tương đối*, chứa hầu hết các quãng vừa đề cập; sự gần đúng có điều tiện lợi là cho ta khả năng *chuyển dịch* bài nhạc xuống thấp hay lên cao. Ta không thể thực hiện điều này với *sự chuẩn âm chính xác* hay lý tưởng. Xem 222

Trong thời gian tới khi bạn hát một bản nhạc yêu thích, bạn thử xác định xem bạn sử dụng sự chuẩn âm nào – đúng, cân bằng hay hỗn hợp. Mỗi người có một sở thích riêng về âm nhạc. Câu đố 529 e

Đo âm thanh

Tại mỗi điểm trong không gian, một sóng âm trong không khí tạo ra 2 hiệu ứng: một sự thay đổi áp suất và một sự thay đổi tốc độ. Hình 218 cho ta thấy cả 2 điều này: áp suất thay đổi tạo ra sự thay đổi trong mật độ phân tử trong khi sự thay đổi vận tốc tác động lên tốc độ trung bình của các phân tử.

Ta đo áp suất âm địa phương bằng một *microphone* hay bằng *tai*. Tốc độ phân tử địa phương được đo bằng một *vi phong tốc kế* hay *cảm biến vận tốc hạt âm học*. Mãi cho đến năm 1994 thì Hans Elias de Bree mới tìm ra cách để chế tạo một dụng cụ đo như vậy. Như ta thấy trong Hình 219, việc chế tạo một vi phong tốc kế không phải là điều dễ dàng. Hai dây platinum nhỏ xíu được nung nóng tới 220°C; sự sai biệt nhiệt độ của chúng phụ thuộc vào tốc độ không khí và có thể đo được bằng cách so sánh điện trở của chúng. Nhờ kích thước nhỏ, ta có thể đo được tần số trong phạm vi lên tới khoảng 20 kHz. Bằng cách đặt 3 thiết bị như vậy vuông góc với nhau ta có thể định hướng được

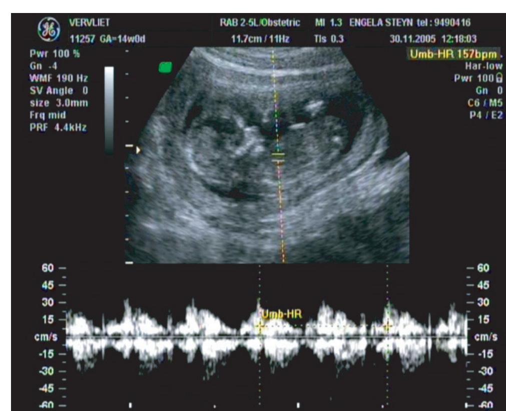


HÌNH 219 Hình trên: hai dây platinum nhỏ được nung nóng cho phép ta tạo ra một vi phong tốc kế. Nó giúp ta xác định nơi phát ra tiếng ồn khó chịu (© Microflown Technologies).

BẢNG 41 Các cường độ âm điển hình.

Hiện tượng	Cường độ âm
Ngưỡng âm ở 1 kHz	0 dB hay 1 pW
Tiếng nói	25 tới 35 dB
Xe điện ngầm vào ga	100 dB
Chụp ảnh thai nhi bằng siêu âm	trên 100 dB
Ngưỡng đau quy ước	120 dB hay 1 W
Buổi chơi nhạc rock có loa 400 000 W	135 tới 145 dB
Pháo bông	lên tới 150 dB
Súng bắn	lên tới 155 dB
Phóng hoả tiễn	lên tới 170 dB
Cá voi xanh thở	lên tới 175 dB
Núi lửa phun trào, động đất, bom qui ước	lên tới 210 dB
Sự va chạm của thiên thạch lớn, bom hạt nhân lớn	trên 300 dB





HÌNH 220 Một hệ thống chụp ảnh siêu âm hiện đại và một ảnh siêu âm thông thường nhưng nguy hại của một bào thai (© General Electric, Wikimedia).

nơi phát ra tiếng ồn. Điều này có ích cho việc sửa chữa và cải tiến xe hơi hay kiểm tra xe lửa và máy móc. Bằng cách sắp xếp nhiều thiết bị trên một lưới vuông người ta có thể tạo ra một 'máy chụp ảnh âm học'. Nó có thể được sử dụng để định vị phi cơ và vật thể bay, một loại 'radar âm'. Vì vi phong tốc kế rất nhỏ và microphone có hướng tính cao lại có thể hoạt động dưới nước, nên quân đội và điệp viên rất thích sử dụng chúng.

Câu hỏi thêm: cách so sánh tốc độ phân tử do âm thanh và tốc độ phân tử do nhiệt độ không khí?

Câu đố 530 ny

Chụp ảnh bằng siêu âm có an toàn cho thai nhi không?

Siêu âm được sử dụng trong y khoa để tìm hiểu bên trong cơ thể con người. Kỹ thuật *chụp ảnh bằng siêu âm*, rất hữu dụng, tiện lợi và phổ biến, như ta thấy trong Hình 220. Tuy vậy, nó cũng có điều bất tiện. Các nghiên cứu ở bệnh viện Mayo, Minnesota đã cho

thấy siêu âm *dạng xung* khác với siêu âm *liên tục* tạo ra mức cường độ âm *nghe được* cực
Xem 223 cao bên trong cơ thể. (Một số cường độ âm được liệt kê trong Bảng 41.)

Siêu âm dạng xung được sử dụng trong việc chụp ảnh siêu âm và trong một số, nhưng không phải tất cả, máy theo dõi nhịp tim thai. Những máy như vậy tạo ra mức cường độ âm *nghe được* cao. Điều này có vẻ nghịch lý; nếu bạn gặp một bác sĩ phụ khoa và đặt đầu siêu âm lên tai hay đầu, bạn sẽ chỉ nghe các tiếng động rất yếu. Đúng ra chính cường độ yếu này lừa cho người ta tin rằng mức ồn mà thai nhi nghe được sẽ rất thấp. Mức ồn này chỉ thấp vì tai người đầy không khí. Ngược lại trong bào thai, tai em bé đầy chất lỏng. Điều này làm thay đổi hoàn toàn sự lan truyền của âm: âm do máy chụp tạo ra sẽ hoàn toàn tập trung và kích thích trực tiếp tai trong. Tác dụng toàn phần sẽ tương tự như khi bạn đặt ngón tay vào trong tai: bạn nghe rất lớn trong khi không ai nghe thấy gì.

Xem 223 Các nghiên cứu gần đây đã chứng tỏ rằng mức cường độ âm trên 100 dB, tương đương với việc một xe điện ngầm vào ga, đã được máy chụp siêu âm tạo ra. Thật vậy, mọi bác sĩ phụ khoa đều khẳng định rằng việc chụp ảnh sẽ ảnh hưởng đến bào thai. Khi được hỏi về vấn đề này, nghiều nhà sản xuất máy chụp siêu âm đều khẳng định rằng “máy *chỉ dùng* âm 5 mW”. Đó ‘chỉ là’ công suất âm của một kèn oboe thổi hết ga! Vì nhiều xét nghiệm siêu âm mất đến 10 phút hay hơn, ta không thể loại trừ tổn hại của màng nhĩ
Xem 224 của thai nhi. Thật không hợp lý để bắt thai nhi phải chịu mức ồn này mà không có lý do chính đáng.

Tóm lại, siêu âm chỉ nên áp dụng cho các bà mẹ trong trường hợp cần thiết. Siêu âm *không an toàn* cho tai của thai nhi. (Tuyên bố của các hiệp hội siêu âm y khoa nói ngược lại đều sai.) Trong *mọi* trường hợp khác, chụp ảnh siêu âm thì an toàn. Tuy vậy cũng nên nhớ rằng các vấn đề tiềm ẩn khác của chụp ảnh siêu âm, vấn đề tổn hại của mô qua hiện
Xem 225 tượng sinh lỗ hổng, chưa được tìm hiểu đầy đủ.

Tín hiệu

Tín hiệu là sự vận chuyển thông tin. Mọi tín hiệu, kể cả các tín hiệu trong Bảng 40, đều là sự chuyển động của năng lượng. Tín hiệu có thể là vật thể hay sóng. Một hòn đá được ném đi là một tín hiệu cũng như một tiếng còi. Sóng là một dạng thực tế hơn của sự truyền thông vì chúng không cần vận chuyển vật chất: việc sử dụng điện trong dây điện thoại để vận chuyển một câu nói thì dễ hơn là gởi đi một thông điệp. Thật vậy, các tiến bộ kỹ thuật hiện đại nhất có thể được ứng dụng để tách việc truyền tín hiệu với sự vận chuyển vật chất. Thay vì vận chuyển một dàn nhạc để trình diễn âm nhạc, ta có thể gởi các tín hiệu vô tuyến. Thay vì gởi thư bằng giấy ta viết các email. Thay vì đi tới thư viện ta lướt trên Internet.

Tiến bộ lớn nhất trong truyền thông là sử dụng tín hiệu để vận chuyển một lượng năng lượng lớn. Đó là điều mà cáp điện đã làm: chúng vận chuyển năng lượng chứ không vận chuyển lượng vật chất (có thể nhận thấy) nào. Ta không cần gắn máy móc ở nhà bếp vào nhà máy điện: ta có thể nhận được năng lượng qua dây đồng.

Vì những lý do này, thuật ngữ ‘tín hiệu’ thường được dùng để nói về sóng. Tiếng nói, âm thanh, tín hiệu điện, tín hiệu vô tuyến và ánh sáng là những thí dụ quan trọng nhất về tín hiệu sóng.

Tín hiệu được đặc trưng bằng tốc độ và nội dung thông tin của chúng. Cả 2 đại lượng hoá ra đều bị giới hạn. Giới hạn của tốc độ là chủ đề trọng yếu của Thuyết tương đối đặc
Quyển II, trang 17 biệt.

Ta có thể biểu diễn giới hạn của nội dung thông tin của tín hiệu sóng nếu ta nhớ rằng dòng thông tin được cho bởi hình dạng chi tiết của tín hiệu. Hình dạng này được đặc trưng bởi tần số (hay bước sóng) và vị trí trong thời gian (hay không gian). Đối với mỗi tín hiệu – và mỗi sóng – có một hệ thức giữa sai số thời điểm đến Δt và sai số tần số góc $\Delta\omega$:

$$\Delta t\ \Delta\omega \geqslant \tfrac{1}{2}\ . \qquad (102)$$

Hệ thức bất định thời gian-tần số này phát biểu rằng, trong một tín hiệu, ta không thể xác định thật chính xác cả thời điểm đến lẫn tần số. Hai sai số này tỷ lệ nghịch với nhau. (Ta cũng có thể nói rằng tích thời gian-băng thông luôn luôn lớn hơn $1/4\pi$.) Giới hạn này xuất hiện vì một mặt ta cần một sóng tương tự như sóng sin dài để xác định tần số một cách chính xác nhưng mặt khác ta cần một tín hiệu thật ngắn để xác định thật chính xác thời điểm đến của nó. Mâu thuẫn giữa 2 yêu cầu này dẫn tới giới hạn trên. Hệ thức bất định là một tính chất của mọi hiện tượng sóng. Bạn có thể kiểm chứng hệ thức này với bất kỳ sóng nào trong môi trường của bạn. Câu đố 531 e

Tương tự như vậy, có một hệ thức giữa sai số vị trí Δx và sai số vector sóng $\Delta k = 2\pi/\Delta\lambda$ của tín hiệu:

$$\Delta x\ \Delta k \geqslant \tfrac{1}{2}\ . \qquad (103)$$

Giống như trường hợp trước, hệ thức bất định này cũng phát biểu rằng ta không thể xác định thật chính xác cả vị trí lẫn bước sóng của sóng. Hệ thức bất định vị trí-vector sóng này cũng là một tính chất của một hiện tượng sóng bất kỳ.

Mỗi hệ thức bất định là hệ quả của một thực thể nhỏ nhất. Trong trường hợp sóng, thực thể nhỏ nhất của hiện tượng là chu kỳ. Khi có một đơn vị nhỏ nhất trong một hiện tượng thiên nhiên ta sẽ có một hệ thức bất định. Ta sẽ gặp các hệ thức bất định khác cả trong Thuyết tương đối lẫn Thuyết lượng tử. Như ta sẽ thấy sau này, chúng cũng bắt nguồn từ những thực thể nhỏ nhất.

Khi những tín hiệu được gởi đi, nội dung của chúng có thể bị mất. Mỗi đặc trưng trong 6 đặc trưng của sóng được liệt kê ở Trang 300 có thể dẫn tới việc suy giảm nội dung. Bạn có thể cung cấp các thí dụ cho từng trường hợp không? Câu đố 532 s Năng lượng, động lượng và mọi tính chất bảo toàn khác của tín hiệu dĩ nhiên không bao giờ bị mất. Sự biến mất của tín hiệu tương tự như sự biến mất của chuyển động. Khi chuyển động bị biến mất do ma sát, nó chỉ 'hình như' biến mất và thực ra nó biến đổi thành nhiệt năng. Tương tự như vậy, khi một tín hiệu biến mất, nó chỉ 'hình như' biến mất nhưng thực ra nó biến đổi thành tiếng ồn. *Tiếng ồn (vật lý)* là một tập hợp nhiều tín hiệu mất trật tự tương tự như nhiệt năng là một tập hợp nhiều chuyển động mất trật tự.

Mọi sự lan truyền tín hiệu đều được mô tả bằng phương trình sóng. Một thí dụ nổi tiếng là tập hợp các phương trình do Hodgkin và Huxley tìm ra. Xem 226 Nó là một gần đúng với thực tế của điện thế trong dây thần kinh. Sử dụng các sự kiện về hành trạng của các ion potassium và sodium người ta tìm được một phương trình sóng phức tạp mô tả hiệu thế V trong dây thần kinh và phương thức tín hiệu truyền đi. Phương trình này mô tả các đỉnh hiệu thế đặc trưng đo được trong dây thần kinh như ta thấy trong Hình 221. Hình này cho ta thấy rõ sóng khác với sóng sin: chúng không điều hoà. Tính phi điều hoà là kết quả của tính phi tuyến. Nhưng phi tuyến có thể dẫn tới các hiệu ứng mạnh hơn.

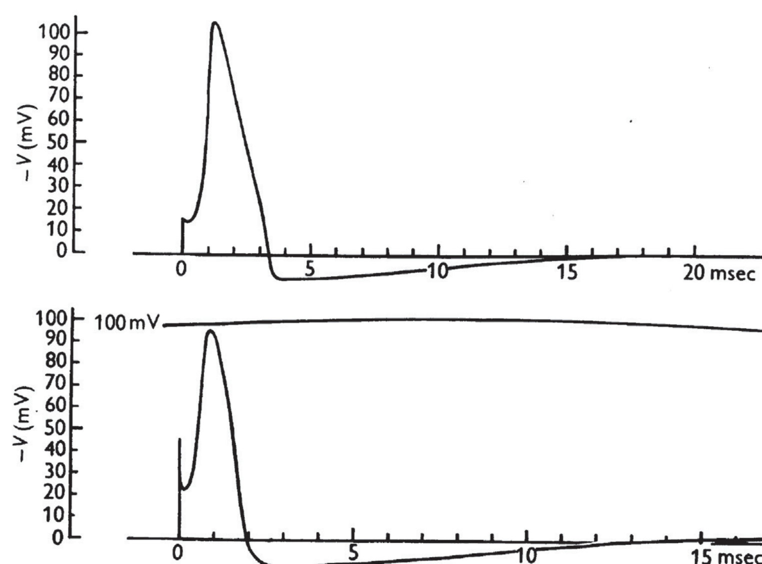


Fig. 13. Upper curve: solution of eqn. (26) for initial depolarization of 15 mV, calculated for 6° C. Lower curve: tracing of membrane action potential recorded at 9·1° C (axon 14). The vertical scales are the same in both curves (apart from curvature in the lower record). The horizontal scales differ by a factor appropriate to the temperature difference.

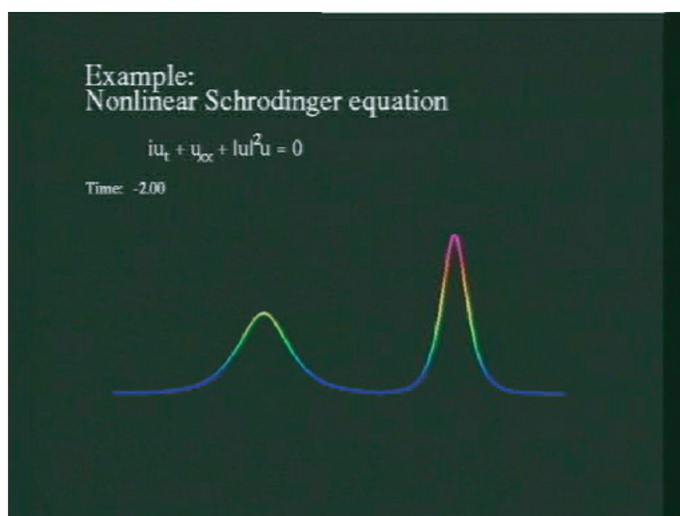
HÌNH 221 Tín hiệu điện do tính toán (hình trên) và đo được (hình dưới) trong một dây thần kinh, theo Hodgkin và Huxley.



HÌNH 222 Một thuyền máy đi theo một sóng cô lập, phục dựng khám phá của Scott Russel (© Dugald Duncan).

Sóng cô lập và soliton

Vào tháng 8 năm 1834, kỹ sư Tô Cách Lan John Scott Russell (b. 1808 Glasgow, d. 1882 London) đã ghi lại một hiện tượng kỳ lạ trong một con kênh ở vùng quê gần Edinburgh. Khi một con thuyền được kéo xuyên qua kênh bị dừng lại đột ngột thì một



HÌNH 223 Soliton bền vững trước mọi va chạm. (QuickTime film © Jarmo Hietarinta)

sóng nước kỳ lạ được phát sinh từ con thuyền. Nó chỉ có một đỉnh sóng *đơn lẻ*, dài khoảng 10 m và cao 0.5 m, chuyển động với tốc độ khoảng 4 m/s. Ông đi theo con sóng đó, như ta thấy qua sự tái lập trong Hình 222, bằng một con ngựa qua nhiều km: sóng tắt dần rất chậm. Russell không thấy một sự tản mạn nào như thường thấy trong sóng nước sâu: bề rộng đỉnh sóng vẫn không đổi. Russell bắt đầu tạo ra các sóng như vậy trong Xem 227 phòng thí nghiệm và nghiên cứu cẩn thận các tính chất của chúng.

Russell đã chứng tỏ rằng tốc độ sóng phụ thuộc biên độ sóng, khác với sóng điều hoà tuyến tính. Ông cũng nhận thấy rằng độ sâu d của con kênh là một tham số quan trọng. Thật vậy, hệ thức giữa tốc độ v, biên độ A và bề rộng L của các sóng có một đỉnh này là

$$v = \sqrt{gd}\left(1 + \frac{A}{2d}\right) \quad \text{và} \quad L = \sqrt{\frac{4d^3}{3A}} \,. \tag{104}$$

Như ta thấy trong biểu thức này và được Russell ghi nhận, sóng cao thì hẹp và nhanh, trong khi sóng thấp thì rộng và chậm. Hình dạng của sóng thì cố định trong khi nó chuyển động. Ngày nay, sóng này và các sóng bền vững khác có 1 đỉnh được gọi là *sóng cô lập*. Chúng chỉ xuất hiện khi sự tản mạn và tính phi tuyến của hệ bù trừ lẫn nhau. Russell cũng nhận xét rằng sóng cô lập trong kênh nước có thể cắt nhau mà vẫn không thay đổi, ngay cả khi đi ngược chiều nhau; sóng cô lập có tính chất này được gọi là *soliton*. Tóm lại, soliton bền vững trước mọi va chạm như ta thấy trong Hình 223, trong khi sóng cô lập thường không bền vững.

Trang 307 60 năm sau, năm 1895, Korteweg và de Vries khám phá ra rằng sóng cô lập trong kênh nước có hình dạng được mô tả bằng phương trình

$$u(x,t) = A\,\mathrm{sech}^2\,\frac{x - vt}{L} \quad \text{trong đó} \quad \mathrm{sech}\,x = \frac{2}{\mathrm{e}^x + \mathrm{e}^{-x}} \,, \tag{105}$$

và hệ thức của Russell bắt nguồn từ phương trình sóng

$$\frac{1}{\sqrt{gd}}\frac{\partial u}{\partial t} + \left(1 + \frac{3}{2d}u\right)\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{d^2}{6}\frac{\partial^3 u}{\partial x^3} = 0 . \qquad (106)$$

Phương trình đối với ly độ u này được gọi là *phương trình Korteweg–de Vries* để vinh danh họ.* Tính bền vững đáng ngạc nhiên của các lời giải cô lập bắt nguồn từ tác dụng trái ngược của 2 số hạng phân biệt phương trình này với các phương trình sóng tuyến tính: đối với lời giải cô lập, số hạng phi tuyến bù trừ với sự tản mạn do số hạng đạo hàm bậc 3 gây ra.

Trong nhiều thập niên sóng cô lập được xem như là các kỳ dị của toán học và vật lý. Lý do cũng đơn giản: không ai giải được các phương trình này. Điều này đã thay đổi sau đó gần một trăm năm, khi rõ ràng là phương trình Korteweg–de Vries là một mô hình phổ quát cho các sóng phi tuyến yếu, trong chế độ tản mạn yếu và có tầm quan trọng cơ bản. Kết luận này do Kruskal và Zabusky, đưa ra vào năm 1965 sau khi đã chứng minh bằng toán học rằng lời giải (105) này *không đổi* trong va chạm. Khám phá này đã thúc
Xem 230
đẩy họ đưa ra thuật ngữ *soliton*. Những lời giải này đã thực sự thâm nhập lẫn nhau mà không làm thay đổi vận tốc và hình dạng: va chạm chỉ tạo ra một dịch chuyển nhỏ về vị trí đối với mỗi xung.

Sóng cô lập đóng vai trò quan trọng trong các dòng lưu chất. Chúng được tìm thấy trong các hải lưu và ngay cả trong các điểm màu đỏ trên Mộc tinh, là một tính chất không thay đổi của các ảnh chụp Mộc tinh trong nhiều thế kỷ.

Sóng cô lập cũng xuất hiện khi âm có cường độ cực cao được tạo ra trong chất rắn.
Xem 231
Trong các trường hợp này, chúng có thể gây ra các xung âm chỉ dài có vài nanometre. Các xung ánh sáng cô lập cũng được sử dụng trong các sợi quang, nơi không có sự tán sắc, cho phép ta đạt được tốc độ truyền dữ liệu cao hơn tốc độ có được nhờ các xung
Xem 227
ánh sáng thông thường.

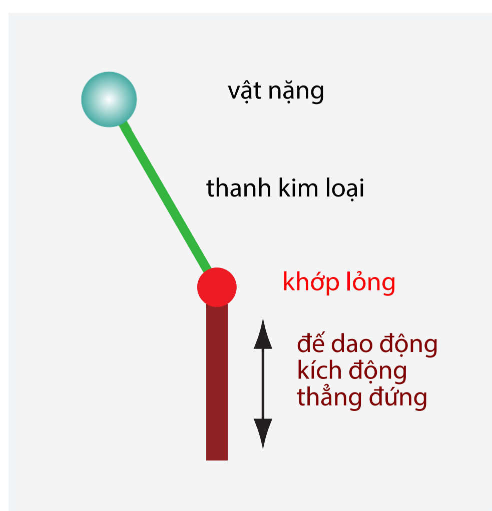
Cuối thế kỷ 20, các toán gia đã khám phá ra rằng các soliton tuân theo sự tổng quát hoá của nguyên lý chồng chập. (Nó bắt nguồn từ phép biến đổi Darboux–Backlund và cấu trúc của Sato Grassmann.) Toán học về soliton cực kỳ thú vị. Sự tiến bộ trong Toán học khởi phát phong trào quan tâm đến Toán học về soliton, khi các lý thuyết gia lượng tử chú ý đến chúng. Lý do thật đơn giản: một soliton là một ‘vật trung gian’ giữa hạt và
Xem 228
sóng; nó có các tính chất của cả 2 khái niệm này. Vì lý do này, soliton thường được xem như – mặc dù không đúng – ứng viên cho sự mô tả các hạt sơ cấp.

Các câu đố vui và lạ về sóng và dao động

> “Xã hội là một sóng. Sóng đi tới còn nước tạo nên sóng thì không.”
> Ralph Waldo Emerson, *Self-Reliance*.

Âm có thể mỹ miều. Nếu bạn thích thú với nơi rửa tội ở Pisa gần tháp nghiêng, hay thích cảm nhận sự tạo ra âm thanh trong cát, hay cảm nhận về Phòng thì thầm ở nhà thờ St

* Ta có thể đơn giản hoá phương trình này bằng cách biến đổi biến u; chính xác nhất, nó có thể được viết lại thành $u_t + u_{xxx} = 6uu_x$. Khi lời giải vẫn là hàm sech thì phiên bản này và các phiên bản biến đổi khác của phương trình vẫn có cùng một tên.



HÌNH 224 Một con lắc ngược dao động kích động ổn định theo phương thẳng đứng nhờ một sự phối hợp tần số và biên độ nào đó.

Paul, hãy đọc quyển sách của Trevor Cox, *Sonic Wonderland*. Nó sẽ mở ra một thế giới mới.

* *

Khi tần số của một cung tăng gấp 2, ta nói rằng cung cao lên một *quãng 8*. Hai cung khác nhau một quãng 8, khi ngân lên chung với nhau, ta nghe thấy êm tai. Hai tỷ số tần số êm tai khác – hay 'quãng', như các nhạc sĩ thường nói – là quãng 4 và quãng 5. Các tỷ số tần số tương ứng là gì? Câu trả lời là một trong những phát kiến cổ xưa nhất trong nghiên cứu Vật lý và nhận thức; người ta đã cho đây là công trình của Pythagoras, vào khoảng 500 BCE.

Câu đố 533 e

* *

Nhiều giáo viên, trong khi giảng bài, đã hít helium trong lớp. Khi nói họ sẽ có giọng rất *cao*. Giọng cao là do tốc độ âm trong helium lớn. Một mánh lới tương tự là dùng SF_6; nó khiến cho giọng rất *trầm*. Điều ít ai biết là các thí nghiệm này rất *nguy hiểm*! Helium không phải là thuốc độc nhưng do bán kính nguyên tử bé nên nó khuếch tán rất nhanh. Nhiều người đã tắc mạch máu do thực hiện thí nghiệm này và có người đã chết. Đừng thử làm việc này; thay vào đó, hãy xem youtube.

* *

Khi một đứa trẻ ngồi trên xích đu do người lớn đẩy, biên độ có được do sự cộng hưởng (trực tiếp). Mặt khác, khi đứa trẻ tự làm cho xích đu dao động, nó đã sử dụng tần số *gấp đôi* tần số riêng của xích đu; hiệu ứng này được gọi là *sự cộng hưởng tham số*.

Một hiệu ứng kỳ lạ của cộng hưởng tham số xuất hiện khi một con lắc ngược đầu được gắn vào một đế dao động. Hình 224 cho ta thấy sự sắp đặt này; nhờ khớp nối, vật nặng sẽ tự do rơi xuống cả 2 bên. Con lắc ngược đầu dao động kích động như vậy, đôi khi được gọi là *con lắc Kapitza*, sẽ vẫn giữ tư thế như vậy nếu tần số kích động của khớp nối được lựa chọn thích hợp. Có thể xem các video của hiện tượng này tại www.youtube.



HÌNH 225 Một sóng chậm đặc biệt: một khu vực đồi nhỏ, mấp mô dành cho trượt tuyết (© Andreas Hallerbach).

com/watch?v=is_ejYsvAjY. Sự cộng hưởng tham số xuất hiện ở nhiều nơi, bao gồm bầu trời. Các tiểu hành tinh Trojan được giữ trên quỹ đạo nhờ sự cộng hưởng tham số.

* *

Các sườn đồi trượt tuyết mấp mô, *ski mogul*, cũng là sóng: chúng di chuyển. Ski mogul Xem 229 là phần chính trong các môn thi tài ở Olympic mùa đông. Quan sát đã chứng tỏ rằng ski mogul có bước sóng điển hình từ 5 tới 6 m và chúng chuyển động với tốc độ trung bình 8 cm/ngày. Điều đáng ngạc nhiên là tốc độ này có hướng *ngược lên* về phía đỉnh Câu đố 534 s dốc. Bạn có thể giải thích lý do cho điều này không? Đúng ra ski mogul cũng là một thí Trang 414 dụ về sự tự tổ chức; chủ đề này sẽ được nói rõ hơn dưới đây.

* *

Một dàn nhạc trình diễn trong một phòng hoà nhạc lớn. Ở khoảng cách 30 m, có người đang lắng nghe. Cách đó 3000 km, một người khác cũng đang nghe qua radio. Ai nghe Câu đố 535 s thấy tiếng nhạc trước?

* *

Chu kỳ của con lắc đơn khối lượng m gắn vào một sợi dây không khối lượng có chiều Câu đố 536 s dài l là bao nhiêu? Chu kỳ này sẽ là bao nhiêu nếu dây dài hơn bán kính của Trái đất rất nhiều?

* *

Quỹ đạo của một vật chuyển động không ma sát trên một mặt phẳng, được cột vào một Câu đố 537 s điểm cố định trên mặt phẳng đó bằng một sợi dây, là gì?

* *

Cá voi xanh, *Balaenoptera musculus*, là động vật *ồn ào nhất* trong thiên nhiên: tiếng của nó có thể nghe thấy được từ khoảng cách hàng trăm km.

* *

Việc tìm hiểu âm thanh trong biển, từ sự giao tiếp của cá voi tới sonar của cá heo, là một thế giới riêng biệt. Để khởi đầu ta có thể thám hiểm website tuyệt vời www.dosits.org.

* *

Câu đố 538 e Một thiết bị thú vị cho ta thấy sự liên kết giữa chuyển động quay và dao động là *còi báo động*. Hãy tìm hiểu cách hoạt động và tự làm một thiết bị như vậy.

* *

Câu đố 539 s Người Lilliput của Jonathan Swift bằng 1/12 kích thước của con người. Hãy chứng tỏ rằng tần số tiếng nói của họ phải cao hơn tần số của tiếng người 144 lần và do đó không nghe được. Gulliver không thể nghe những điều người Lilliput đã nói. Tương tự như vậy, điều này cũng đúng cho người Brobdingnag, cao hơn người 10 lần. Những câu nói của họ cũng sẽ thấp hơn hàng trăm lần.

* *

Câu đố 540 e Ánh sáng là sóng, như ta sẽ biết sau này. Kết quả là ánh sáng đến Trái đất từ không gian bị khúc xạ khi đi vào khí quyển. Bạn có thể khẳng định rằng ngôi sao xuất hiện trên bầu trời cao hơn vị trí thực của chúng không?

* *

Sóng biển cao nhất là bao nhiêu? Câu hỏi này chỉ được nghiên cứu một cách có hệ thống Xem 232 lúc gần đây bằng cách sử dụng vệ tinh. Kết quả đáng ngạc nhiên là sóng có chiều cao 25 m hay hơn rất *phổ biến*: có một số sóng như vậy trên biển vào bất cứ thời điểm nào. Kết quả này khẳng định những câu chuyện hiếm có của các thuyền trưởng kinh nghiệm và giải thích nhiều vụ đắm tàu không giải thích được khác.

Những người lướt sóng cũng có nhiều cơ hội để cỡi trên những ngọn sóng cao 30 m. (Kỷ lục hiện nay vẫn dưới chiều cao này.) Nhưng có lẽ những con sóng ấn tượng nhất đối với người lướt sóng là sóng ở Pororoca, một chuỗi sóng cao 4 m di chuyển từ biển ngược dòng sông Amazon vào mùa xuân. Người ta có thể lướt trên con sóng dài hàng chục km.

* *

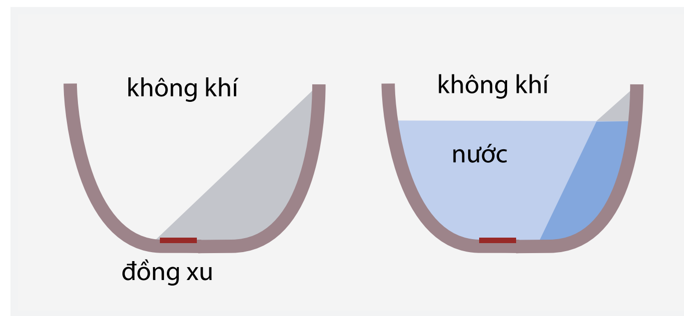
Điều thú vị là *mọi* mặt nước đều có sóng, dù nó có vẻ phẳng lặng. Do nhiệt độ hữu hạn của nước, mặt nước luôn có sự nhấp nhô: đó là sóng mao dẫn *nhiệt*. Đối với nước, sức căng bề mặt 72 mPa, độ nhấp nhô ở điều kiện bình thường là 0.2 nm. Các sóng mao dẫn Xem 233 nhiệt này, được tiên đoán từ nhiều thế kỷ nhưng gần đây người ta mới quan sát được nó.

* *

Câu đố 541 s Mọi sóng đều tắt dần. Hiệu ứng này thường phụ thuộc tần số. Bạn có thể cung cấp sự chứng thực cho trường hợp sóng âm trong không khí hay không?

* *

Câu đố 542 e Khi bạn dùng kim đục một cái lỗ trên một tờ giấy đen, nó có thể được dùng làm kính lúp. (Bạn hãy thử làm xem.) Hiệu ứng thấu kính này bắt nguồn từ sự nhiễu xạ. Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng do các lỗ nhỏ đã được Francesco Grimaldi ghi nhận vào thế kỷ 17; ông đã rút ra một kết luận đúng: *ánh sáng là sóng*. Newton đã gạt bỏ kết luận đó một



HÌNH 226 Những cái bóng cho ta thấy sự khúc xạ của ánh sáng.

cách sai lầm chỉ vì chúng không phù hợp với niềm tin của ông.

* *

Câu đố 543 e Đặt một cái cốc rỗng gần một ngọn đèn sao cho đáy cốc vẫn nằm trong bóng tối. Khi bạn đổ nước vào cốc, một phần đáy sẽ được chiếu sáng vì ánh sáng từ bóng đèn bị khúc xạ như ta thấy trong Hình 226. Hiệu ứng tương tự cho phép ta chế tạo các thấu kính. Như vậy khúc xạ là nền tảng của nhiều quang cụ như kính viễn vọng hay kính hiển vi.

Quyển III, trang 164

* *

Câu đố 544 s Sóng nước là sóng ngang hay sóng dọc?

* *

Tốc độ của sóng nước làm giảm tốc độ của thuyền. Một chiếc thuyền trên mặt nước không thể di chuyển nhanh hơn $v_{crit} = \sqrt{0.16gl}$, trong đó $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$, l là chiều dài của thuyền, 0.16 là một số xác định bằng thực nghiệm, được gọi là *số tới hạn Froude*. Hệ thức này này đúng với mọi kiểu thuyền, từ tàu dầu lớn ($l = 100$ m có $v_{crit} = 13$ m/s) tới con vịt ($l = 0.3$ m với $v_{crit} = 0.7$ m/s). Tốc độ tới hạn là tốc độ của sóng có bước sóng bằng chiều dài thuyền. Đúng ra ta có thể di chuyển một con thuyền với tốc độ cao hơn tốc độ tới hạn nhưng cần nhiều năng lượng hơn. (Thuyền cũng có thể có tốc độ cao hơn nếu nó lướt trên sóng.) *Kỷ lục olympic về bơi sải* cách giá trị của tốc độ tới hạn bao nhiêu?

Câu đố 545 s

Phần lớn các động vật dưới nước và tàu thuyền đều di chuyển nhanh hơn khi chúng lặn dưới mặt nước – vì không còn giới hạn do các sóng trên mặt. Thí dụ như vịt có thể lặn dưới nước nhanh hơn bơi trên mặt nước gấp 3 lần.

* *

Vận tốc nhóm của sóng nước (ở dưới sâu) thì nhỏ hơn vận tốc của các đỉnh sóng, thường gọi là *vận tốc phase*. Kết quả là khi một nhóm các đỉnh sóng di chuyển, các đỉnh sóng bên trong nhóm chuyển động từ sau ra trước: chúng xuất hiện ở phía sau, tiến tới và biến mất ở phía trước. Vận tốc nhóm của sóng nước *thì nhỏ hơn* vận tốc phase.

* *

Ta có thể nghe tiếng biển hay tiếng xa lộ ở xa xa vào buổi chiều thì rõ hơn buổi sáng. Đây là hiệu ứng do hiện tượng khúc xạ. Tốc độ âm tăng lên theo nhiệt độ. Vào buổi chiều,

mặt đất mát nhanh hơn không khí ở phía trên nên âm rời mặt đất và di chuyển lên trên bị khúc xạ xuống dưới, khiến cho khoảng cách nghe được dài ra. Vào buổi sáng, không khí thường lạnh ở phía trên và ấm ở phía dưới. Âm bị khúc xạ lên và âm ở xa không tới được tai của người nghe trên mặt đất. Như vậy hiện tượng khúc xạ làm cho buổi sáng trở nên yên tĩnh và buổi chiều ta có thể nghe được các âm ở xa hơn. Voi sử dụng tính chất này lúc ban chiều để liên lạc ở khoảng cách xa hơn 10 km. (Chúng cũng thường sử dụng sóng âm trong đất để liên lạc nhưng đó là một câu chuyện khác.)

* *

Sự khúc xạ cũng dẫn tới việc có một *kênh âm* trong đại dương và một trong khí quyển. Tốc độ âm gia tăng theo nhiệt độ và áp suất. Trong biển ở độ sâu 1 km hay ở độ cao 13 tới 17 km trong khí quyển (ở đỉnh của các đám mây vũ tích hoặc tương đương, ở giữa tầng ozone) âm có tốc độ *nhỏ nhất*. Kết quả, âm bắt đầu từ mức đó truyền đi thì được truyền ngược trở lại. Cá voi đã sử dụng *kênh âm* này để liên lạc với nhau bằng những bài mỹ
Câu đố 546 e
ca; ta có thể tìm thấy các bản ghi âm của các bài hát này trên Internet. Quân đội cũng thành công trong việc sử dụng các microphone đặt tại các kênh âm trong đại dương để định vị tàu ngầm và các microphone đặt trên khí cầu trong kênh khí quyển để lắng nghe
Xem 234
các vụ nổ hạt nhân.

Đúng ra các thí nghiệm về âm do quân đội tiến hành là lý do chính khiến cho cá voi bị điếc, mất phương hướng và mắc cạn trên bờ biển. Các thí nghiệm tương tự trong không khí ở các khí cầu trên cao thường mắc sai lầm về đĩa bay, như trong tai nạn Roswell nổi tiếng.

* *

Xem 235
Các động vật nhỏ cũng liên lạc bằng sóng âm. Năm 2003, người ta phát hiện cá trích liên lạc bằng cách sử dụng tiếng động do chúng tạo ra khi trung tiện. Khi biến thành gió, khí tạo ra tiếng tích tắc có phổ tần số lên tới 20 kHz. Ta có thể nghe và ghi lại âm thanh này trên Internet. Các chi tiết về sự liên lạc, như sự khác nhau giữa 2 giới tính vẫn còn được nghiên cứu. Âm có thể được động vật ăn thịt sử dụng để dò ra cá trích và cũng có thể được các tàu đánh cá trong tương lai sử dụng.

* *

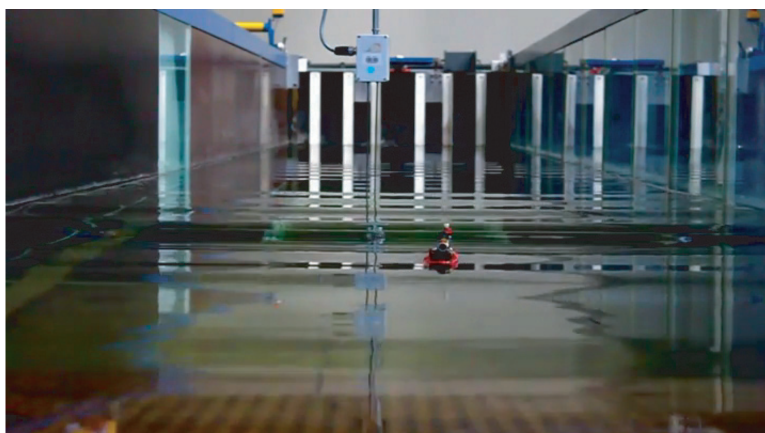
Cây cối có tạo ra âm thanh không? Có. Nhiều loài cây, bao gồm cây thông và các loài cây khác, đã tạo ra siêu âm công suất thấp khi vận chuyển nhựa cây; các loài cây khác như bắp tạo ra âm nghe được công suất thấp trong rễ của chúng.

Thực vật có cảm giác với âm không? Có. Nhiều loài cây, bao gồm cà chua, chỉ phóng thích phấn hoa khi được kích thích bằng âm có tần số đặc biệt do các tác nhân thụ phấn phát ra; trong các loài cây khác, kể cả bắp, rễ cây hình như tăng trưởng theo hướng của nguồn âm nào đó.

Nhưng cây có liên lạc bằng cách sử dụng âm thanh không? Có một khả năng nhỏ là rễ cây có ảnh hưởng đến nhau theo cách này; người ta vẫn tiếp tục nghiên cứu. Cho tới nay người ta chưa tìm được điều gì. Có thể bạn có những khám phá tạo ra bước dậm
Câu đố 547 ny
nhảy vào lĩnh vực *âm học thực vật* chăng?

* *

Ở vùng biển có nhiều gió, các đỉnh sóng bạc đầu có nhiều hiệu ứng quan trọng. Tiếng ồn



HÌNH 227 Một sóng quỷ nhân tạo – thu nhỏ – được tạo ra trong một bồn nước (QuickTime film © Amin Chabchoub).

bắt nguồn từ các bọt nước bùng nổ. Tiếng ồn của sóng trên biển cả là sự chồng chập của nhiều vụ nổ nhỏ. Đồng thời, các đỉnh sóng bạc đầu là nơi biển hấp thu carbon dioxide từ khí quyển và làm giảm sự nóng lên của toàn cầu.

* *

Sóng quỷ – hay *sóng quái* hay *sóng quái vật*– là các sóng đơn lẻ trên biển có độ cao 30 m đột ngột xuất hiện giữa các sóng thấp, đã là một hiện tượng kỳ dị trong nhiều thập niên. Trong một thời gian dài người ta không rõ là chúng có thực sự xảy ra hay không. Chỉ có các báo cáo rải rác của các thuyền trưởng và các vụ đắm tàu bí mật chỉ ra sự hiện hữu của chúng. Sau cùng, từ năm 1995 trở đi, các số đo mới bắt đầu khẳng định sự hiện hữu của chúng. Lý do cho sự hoài nghi này là cơ chế thành lập của chúng vẫn chưa rõ ràng. Nhưng các thí nghiệm từ 2010 trở đi đã mở rộng sự hiểu biết về loại sóng nước phi tuyến này. Những thí nghiệm đầu tiên đã khẳng định rằng dưới những điều kiện lý tưởng nào đó, sóng nước cũng biểu hiện các *lời giải sinh vật*, hay sự hội tụ phi tuyến.
Xem 236 Sau cùng vào năm 2014, Chabchoub và Fink đã sắp xếp để chứng tỏ, bằng kỹ thuật thực nghiệm thông minh dựa trên phép đảo ngược thời gian, rằng sự hội tụ phi tuyến – bao gồm sóng quỷ – có thể xuất hiện trong các sóng nước bất thường có biên độ nhỏ hơn rất nhiều. Như Amin Chabchoub đã giải thích, bằng chứng video trông giống như ta thấy trong Hình 227.

* *

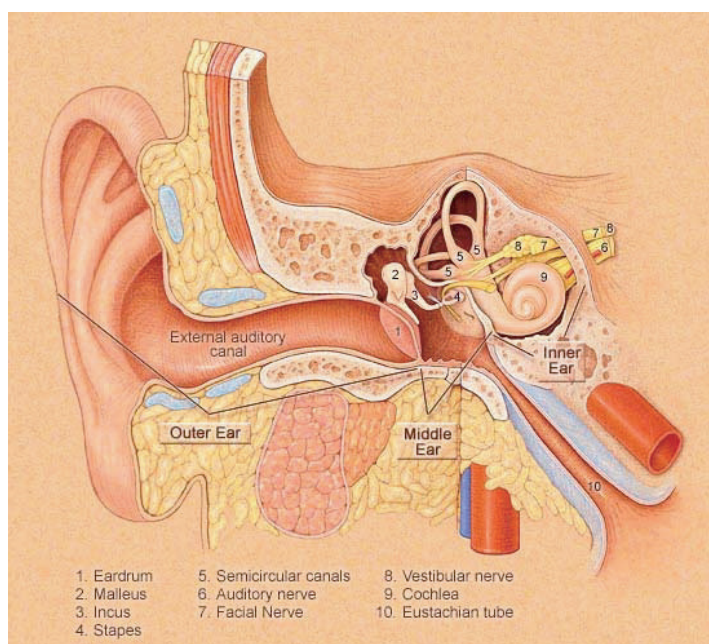
Câu đố 548 s Tại sao có các lỗ nhỏ trên trần nhà của nhiều văn phòng?

* *

Biến động lực vật lý nào xác định bước sóng của sóng nước phát sinh khi có hòn đá được
Câu đố 549 ny ném xuống hồ?

* *

Xem 2 Yakov Perelman đã liệt kê 4 bài toán sau đây trong quyển sách bài tập vật lý hấp dẫn của ông.



HÌNH 228 Tai của người (© Northwestern University).

1. Một hòn đá rơi xuống hồ tạo ra các sóng tròn. Hình dạng của sóng do hòn đá rơi xuống dòng sông đang chảy là gì? Câu đố 550 s
2. Có thể chế tạo một thấu kính âm học giống như ta chế tạo thấu kính quang học hay không? Thấu kính như vậy sẽ trông giống như cái gì? Câu đố 551 s
3. Âm nghe được trong vỏ sò là gì? Câu đố 552 s
4. Ánh sáng mất 8 phút để đi từ Mặt trời tới Trái đất. Điều này có ảnh hưởng như thế nào đối với việc xác định giờ mặt trời mọc? Câu đố 553 s

* *

Thông thường âm do một người đang nói tạo ra một độ biến thiên áp suất 20 mPa trên tai người nghe. Làm cách nào để xác định giá trị này? Câu đố 554 ny

Tai là một thiết bị thực sự nhạy cảm. Như ta đã đề cập, phần lớn các động vật hữu nhũ dưới biển, như cá voi, dạt lên bờ biển là do các vấn đề về tai: thường một số thiết bị quân sự (cả tín hiệu sonar lẫn tiếng nổ) đã phá huỷ tai của chúng khiến cho chúng trở nên điếc và mất khả năng định hướng.

* *

Tại sao tai người như trong Hình 228, lại phức tạp như vậy? Phần bên ngoài, *loa tai* hay *vành tai*, tập trung áp suất âm lên màng nhĩ; nó tạo ra độ lợi là 3 dB. Màng nhĩ được cấu tạo sao cho luôn luôn dao động ở mức cơ bản tức không có nút nào. Màng nhĩ có một cộng hưởng (khá rộng) ở 3 kHz, trong vùng mà tai nhạy nhất. Màng nhĩ truyền dao động của nó vào tai trong bằng cách sử dụng các xương nhỏ. Cơ cấu này biến đổi sóng không khí này thành sóng nước ở tai trong, nơi chúng được phát hiện. Hiệu suất của sự biến đổi này khá lý tưởng; sử dụng ngôn ngữ của lý thuyết sóng, các xương này chính

là các bộ biến đổi trở kháng. Tại sao tai biến đổi sóng không khí thành sóng nước? Vì
Câu đố 555 ny nước giúp cho máy dò có kích thước nhỏ hơn. Bạn có thể giải thích lý do không?

* *

Hạ âm, âm có tần số dưới 20 Hz, là một chủ đề nghiên cứu hiện đại. Trong thiên nhiên, hạ âm được phát ra từ các địa chấn, sự phun trào của núi lửa, gió, sấm sét, thác nước, sao băng và sóng vỗ. Chuyển động của băng hà, hải chấn, tuyết lở và các trận bão địa
Xem 237 từ cũng phát ra hạ âm. Các nguyên nhân do con người bao gồm phóng hoả tiễn, xe cộ, động cơ xăng dầu và các máy nén khí.

Người ta đã biết rằng hạ âm có cường độ cao sẽ gây ra cảm giác buồn nôn hay rối loạn cảm giác thăng bằng (140 dB hay hơn trong 2 phút) và có thể dẫn đến tử vong (170 dB trong 10 phút). Tác dụng của cường độ thấp trên sức khoẻ của người thì chưa được biết rõ.

Hạ âm có thể chuyển động vòng quanh thế giới nhiều lần trước khi tắt hẳn như vụ nổ của núi lửa Krakatoa đã cho ta thấy vào năm 1883. Với các máy phát hiện hạ âm hiện đại, tiếng sóng vỗ cách xa hàng trăm km vẫn có thể được phát hiện. Sóng vỗ tạo ra tiếng 'hum' của vỏ Trái đất ở tần số từ 3 tới 7 mHz. *Mạng lưới hạ âm toàn cầu* sử dụng hạ âm để phát hiện các vụ thử vũ khí hạt nhân, địa chấn, sự phun trào của núi lửa và có thể đếm sao băng. Có rất ít sao băng mà tai người có thể nghe thấy. (Hãy ghé trang can-ndc.nrcan.gc.ca/is_infrasound-en.php.)

* *

Phương pháp được sử dụng để tìm ra sóng sine chứa trong một tín hiệu được minh hoạ trong Hình 205, được gọi là phép biến đổi Fourier. Nó rất quan trọng trong khoa học và kỹ thuật. Trong thập niên 1980, một sự tổng quát hoá thú vị trở nên phổ biến, được gọi là *phép biến đổi sóng con*. Khác với phép biến đổi Fourier, phép biến đổi này cho phép ta định vị tín hiệu theo thời gian. Phép biến đổi sóng con được sử dụng để nén các hình ảnh được lưu trữ dưới dạng số một cách hiệu quả, để chẩn đoán các trục trặc của turbine
Xem 238 phi cơ và trong nhiều ứng dụng khác.

* *

Nếu bạn thích các câu đố về kỹ thuật thì đây là một vấn đề chưa có câu trả lời. Làm cách nào để ta có thể chế tạo một hệ thống vừa bền bỉ vừa hiệu quả để biến đổi năng lượng
Câu đố 556 r của sóng biển thành điện năng?

* *

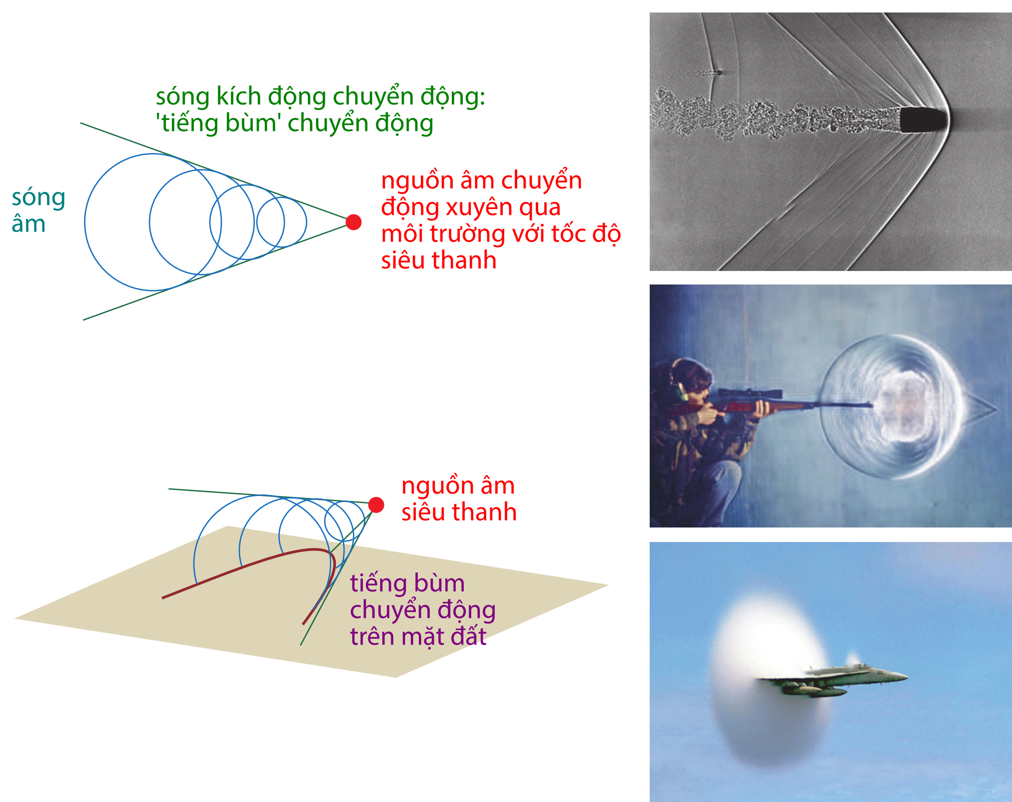
Nếu bạn quan tâm đến sóng biển, bạn có thể thích khoa *Hải dương học*. Để khởi đầu, bạn hãy đọc các quyển sách giáo khoa mã nguồn mở tại oceanworld.tamu.edu.

* *

Kết cấu nhỏ nhất trong thiên nhiên có sóng dừng trên mặt của nó là gì? Còn kết cấu lớn nhất thì sao?

* *

Trong sự mô tả các vật thể linh hoạt, ta đã giả sử rằng có thể theo dõi từng điểm của vật một cách riêng rẽ trong suốt quá trình chuyển động. Giả sử này có hợp lý không? Điều



HÌNH 229 Sóng kích động do một vật chuyển động siêu thanh tạo ra dẫn tới việc có 'tiếng bùm' chuyển động xuyên qua không khí; ta có thể thấy nó nhờ phép chụp ảnh Schlieren hay nhờ sự ngưng tụ hơi nước (photo © Andrew Davidhazy, Gary Settles, NASA).

Câu đố 557 r gì sẽ xảy ra nếu nó không đúng?

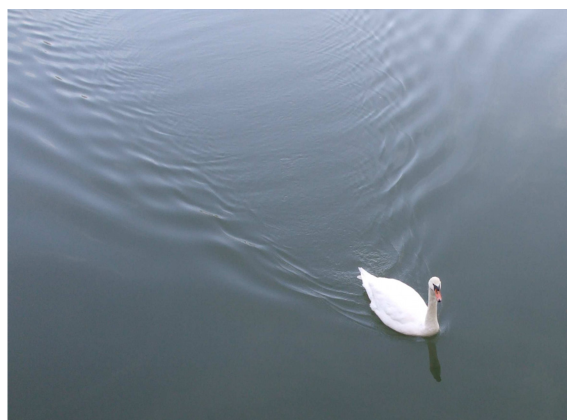
* *

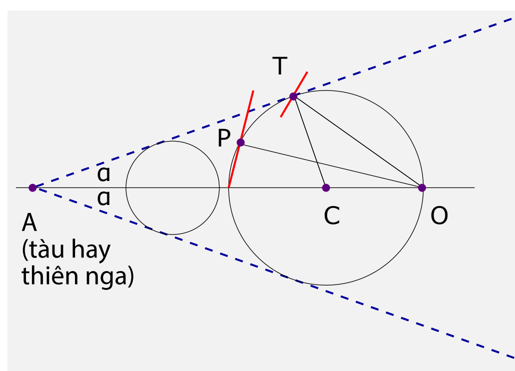
Một loại sóng đặc biệt xuất hiện trong các vụ nổ và các chuyến bay siêu thanh: *sóng kích động*. Trong một sóng kích động, mật độ hay áp suất của chất khí thay đổi đột ngột, trong khoảng cách vài micrometer. Bản thân việc nghiên cứu sóng kích động đã là một lĩnh vực nghiên cứu; sóng kích động xác định đường đi của viên đạn, tiếng kêu của ngọn roi và tác dụng của sự kích nổ.

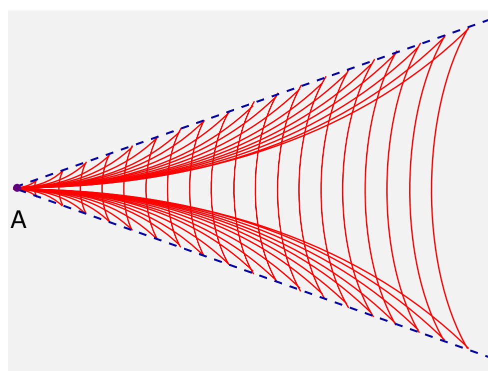
Quanh một vật chuyển động với tốc độ siêu thanh, sóng âm tạo nên 1 hình nón như ta thấy trong Hình 229. Khi một hình nón đi ngang qua 1 quan sát viên trên mặt đất, nó gây ra một *tiếng nổ*. Điều ít ai biết là tiếng nổ có thể bị khuếch đại. Nếu một phi cơ *gia tốc* xuyên qua rào âm thanh, một số quan sát viên trên mặt đất sẽ nghe 2 tiếng nổ còn được gọi là siêu tiếng nổ, vì hình nón của các tốc độ khác nhau có thể chồng chập ở một điểm nào đó trên mặt đất. Một phi cơ thực hiện những thao tác nào đó, như lượn vòng với tốc độ cao, có thể tạo ra một siêu tiếng nổ tại một điểm định trước trên mặt đất. Trái với tiếng nổ thông thường, siêu tiếng nổ có thể làm vỡ cửa kính, màng nhĩ và gây ra chấn thương, đặc biệt ở trẻ em. Điều không may là chúng được đều đặn tạo ra có mục đích bởi các phi công quân sự ở các nơi khác nhau trên thế giới.

Xem 239









HÌNH 230 Đường rẽ nước sau một chiếc thuyền và sau một con thiên nga, và cách để suy ra hình dạng của nó (photos © Wikimedia, Christopher Thorn).

* *

Những con thiên nga đang bơi và những con tàu giống nhau ở những điểm nào? *Đường rẽ nước* ở phía sau chúng. Dù có nét tương tự, hiện tượng này không có gì liên hệ với tiếng nổ siêu thanh. Đúng ra góc rẽ nước đối với vịt và con tàu có điểm *giống nhau*: góc này *độc lập* với tốc độ di chuyển và kích thước của vật di chuyển, miễn là nước đủ sâu.

Trang 294
Như ta đã giải thích ở trên, sóng nước ở nơi nước *sâu* khác với sóng âm: vận tốc nhóm của chúng bằng *một nửa* vận tốc phase. (Việc bạn có thể suy ra điều này từ hệ thức tán sắc $\omega = \sqrt{gk}$ giữa tần số góc và vector sóng có đúng với sóng nước sâu hay không?) Sóng nước sẽ giao thoa tại nơi mà phần lớn năng lượng được vận chuyển, tức là vào khoảng vận tốc nhóm. Vì vậy trong sơ đồ của Hình 230, đường kính của mỗi vòng tròn luôn luôn bằng *phân nửa* khoảng cách từ điểm ngoài cùng O tới đỉnh A. Kết quả là phân nửa góc rẽ nước được tính theo công thức

Câu đố 558 e

$$\sin\alpha = \tfrac{1}{3} \quad \text{và góc rẽ nước bằng} \quad 2\alpha = 38.942° \,. \qquad (107)$$

Hình 230 cũng cho phép ta suy ra các đường cong tạo thành các kiểu thức sóng của đường rẽ nước bằng cách sử dụng các phép tính hình học đơn giản. Xem 240

Có một điều ghi nhận quan trọng là góc rẽ cố định chỉ đúng trong nước *sâu* tức là chỉ đúng trong nước sâu hơn bước sóng có liên quan. Nói cách khác, đối với chiều sâu đã cho, đường rẽ có hình dạng cố định chỉ tới mức tốc độ nguồn cực đại. Nếu tốc độ cao hơn, góc rẽ hẹp lại và kiểu thức trong đường rẽ thay đổi.

* *

Dơi bay vào ban đêm bằng cách sử dụng *sự định vị bằng tiếng vang*. Cá heo cũng vậy. Sonar mà các tàu đánh cá sử dụng để tìm cá, sao chép các hệ thống của cá heo. Ít ai biết là con người cũng có khả năng như vậy. Xem 241 Bạn có thử định vị một bức tường bằng tiếng vang trong một căn phòng tối đen hay chưa? Bạn sẽ ngạc nhiên khi biết điều này rất dễ thực hiện. Chỉ cần rít lên hay huýt sáo lớn rồi ngừng đột ngột và lắng nghe tiếng vang. Bạn sẽ định vị được bức tường một cách xác thực. Câu đố 559 e

* *

Chim hót. Nếu bạn muốn biết điều này xảy ra như thế nào, hãy nhìn các film X-quang đầy ấn tượng của chim đang hót tìm thấy tại website www.indiana.edu/~songbird/multi/cineradiography_index.html.

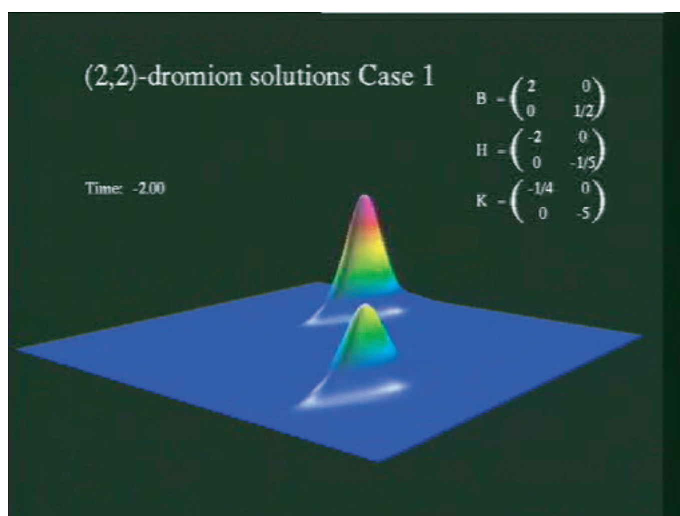
* *

Mỗi sóng cô lập là một cấu trúc 1 chiều. Có sự tương tự trong trường hợp 2 chiều hay không? Vấn đề này vẫn được nghiên cứu trong nhiều năm qua. Sau cùng vào năm 1988, Boiti, Leon, Martina và Pempinelli đã tìm thấy rằng phương trình tiến hoá Davey–Stewartson, có thể có lời giải định xứ trong không gian 2 chiều. Xem 242 Những kết quả này được Fokas và Santini tổng quát hoá và được Hietarinta và Hirota tổng quát hoá sâu hơn. Ngày nay lời giải như vậy được gọi là *dromion*. Dromion là những cái bướu định xứ trong không gian 2 chiều và có thể chuyển động, không biến mất sau khi khuếch tán, trong các hệ phi tuyến. Một thí dụ được trình bày trong Hình 231. Tuy vậy, cho đến nay người ta chưa quan sát được một lời giải như vậy trong các thí nghiệm; đây là một trong những thách thức thực nghiệm quan trọng nhất, còn lại trong khoa học phi tuyến.

* *

Từ trước tới nay sóng nước luôn được quan tâm. Lời giải 2 chiều của sóng cô lập được nghiên cứu nhiều nhất. Thí nghiệm thì đơn giản, Toán học thì phức tạp và vấn đề thì luôn hấp dẫn. Trong trường hợp 2 chiều, các đỉnh sóng có thể tạo thành các kiểu thức lục giác! Các phương trình liên quan đối với sóng nông, dạng tổng quát của phương trình Korteweg–de Vries cho trường hợp 2 chiều, được gọi là *phương trình Kadomtsev–Petviashvili*. Nó dẫn tới nhiều sóng nước bất thường khác, bao gồm sóng cnoidal, sóng cô lập và dromion, một số loại được trình bày trong Hình 232. Vấn đề hiện hữu của các kiểu thức chữ nhật vẫn được nghiên cứu và các phương trình chính xác cùng các lời giải đối với sóng nước sâu vẫn chưa được biết đầy đủ.

Đối với nước chuyển động, sóng còn phức tạp hơn và thể hiện nhiều hiện tượng rõ ràng như hiệu ứng Doppler, cùng với các hiện tượng ít rõ ràng hơn như *sóng triều*, tức là sóng do thuỷ triều lên ở cửa sông và *sóng triều thứ cấp*. Ngay cả sóng nước thông thường cũng còn là đề tài nghiên cứu. Xem 243



HÌNH 231 Chuyển động theo tính toán của dromion băng qua một nền 2 chiều. (QuickTime film © Jarmo Hietarinta)

* *

Âm thanh do việc thổi trên miệng chai tạo ra, phụ thuộc như thế nào vào kích thước chai? Đối với chai to, tần số f, *tần số cộng hưởng hốc*, tìm được phụ thuộc vào thể tích V của chai:

Xem 244
Câu đố 560 ny

$$f = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{VL}} \quad \text{hay} \quad f \sim \frac{1}{\sqrt{V}} \qquad (108)$$

trong đó c là tốc độ âm, A là diện tích miệng chai và L là chiều dài cổ chai. Công thức này có phù hợp với sự quan sát của bạn không?

Câu đố 561 e

Đúng ra sự tạo ra âm này là một quá trình phức tạp và có nhiều sách chuyên viết về chủ đề này. Thí dụ như khi thổi mạnh, một kèn saxophone sẽ sinh ra một hoạ âm thứ hai, một quãng 8, trong khi một kèn clarinet sinh ra một hoạ âm thứ 3, một quãng 5 (chính xác hơn là quãng 12). Tại sao lại như vậy? Lý thuyết thì phức tạp nhưng kết quả khá đơn giản: nhạc cụ có thiết diện ngang tăng lên theo chiều dài, như kèn, trumpet, oboe hay saxophone, việc thổi mạnh sẽ tăng thêm một quãng 8. Đối với nhạc cụ có thiết diện ngang (gần như) hình tròn, tác dụng của việc thổi mạnh phụ thuộc vào cơ chế tạo âm. Flute thì là quãng 8 nhưng clarinet thì tới 12.

Xem 245

* *

Nhiều hệ âm không chỉ tạo ra các hoạ ba mà còn tạo ra các phân hoạ ba. Có một cách đơn giản để quan sát sự phát sinh phân hoạ ba: hát trong bồn tắm, tai ở dưới nước. Tuỳ theo không khí còn lại trong tai, bạn có thể nghe các phân hoạ ba của giọng mình. Hiệu ứng này khá đặc biệt.

* *

Nguồn gốc của các tiếng răng rắc ở các khớp nối, như đốt ngón tay, là một vấn đề nổi



HÌNH 232 Sóng nước khác thường ở nơi nước nông: (hình trên) trong một bồn nước thí nghiệm và trong một cơn bão ở North Carolina, (hình dưới) một sóng cnoidal thuần tuý gần Panama và 2 sóng như vậy đan chéo nhau ở Ile de Ré (photo © Diane Henderson, Anonymous, Wikimedia).

tiếng. Làm cách nào bạn kiểm chứng được giả định cho là nó bắt nguồn từ sự sinh hốc? Bạn sẽ làm gì để tìm ra một cách chính xác?

Câu đố 562 e

* *

Khi âm thanh ở đáy một cái hố sâu 1 km trong lòng đất được nghiên cứu, người ta thấy rằng các hố sâu có đầy các âm tần số thấp và mức cường độ âm nhỏ. Chu kỳ dao động có thể dài hơn 300 s, tức là tần số khoảng 3 mHz. Đa số các âm này bắt nguồn từ sóng biển. Tần số âm bị biến đổi do các hiệu ứng phi tuyến và ta có thể phát hiện ra chúng ở đáy biển hay giữa các đại lục. Hiện nay các âm này thường được sử dụng để dò tìm dầu

khí. Nguồn gốc của các âm đặc biệt này vẫn còn là chủ đề nghiên cứu; một số có thể liên quan tới khí quyển hay chuyển động của magma trong tầng mantle và trong các núi lửa.

* *

Mọi trẻ em đều khóc. Các nghiên cứu chứng tỏ rằng tiếng khóc của chúng gồm 4 loại kiểu thức cơ bản. Người ta đã chứng minh rằng thành phần của 4 kiểu thức phụ thuộc tiếng mẹ đẻ, ngay cả trẻ sơ sinh.

* *

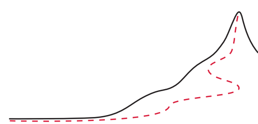
Giữa các trải nghiệm âm thanh ấn tượng nhất là phần trình diễn của giọng *countertenor* và của giọng *soprano nam*. Nếu bạn có cơ hội để thưởng thức thì đừng bỏ qua.

Tóm tắt về sóng và dao động

Trong thiên nhiên, ngoài chuyển động của vật thể ta còn quan sát được chuyển động của sóng. Nhóm sóng thường được sử dụng làm tín hiệu. Sóng có năng lượng, động lượng và moment động lượng. Sóng hiện hữu trong chất rắn, lỏng và khí cũng như dọc theo các mặt phân cách. Sóng có thể giao thoa, nhiễu xạ, khúc xạ, tán sắc, tắt dần và nếu là sóng ngang thì có thể phân cực. Sóng cô lập tức là sóng chỉ có một đỉnh, là trường hợp đặc biệt của sóng trong môi trường tán sắc phi tuyến đặc biệt.

Dao động là trường hợp đặc biệt của sóng; thường thường chúng là sóng dừng. Dao động và sóng chỉ xuất hiện trong các hệ linh hoạt.





Chương 11

Các vật linh hoạt có hiện hữu không? – Giới hạn của sự liên tục

Ta vừa bàn tới các vật thể có tính linh hoạt. Ta đã nhận thấy rằng mọi vật linh hoạt, tức là chất rắn có tính chất của chất lỏng, đều có chuyển động sóng. Nhưng ta có thực sự tìm thấy các vật linh hoạt trong thiên nhiên không? Kỳ lạ thay, đây là câu hỏi được bàn luận nhiều nhất trong Vật lý. Qua nhiều thế kỷ, nó cứ lặp đi lặp lại ở mỗi đợt phát triển của việc mô tả chuyển động; câu trả lời thì thay đổi giữa khẳng định và phủ định. Nhiều tư tưởng gia đã bị giam cầm và nhiều người vẫn còn bị ngược đãi vì đã cho câu trả lời không đúng chính sách! Đúng ra vấn đề nảy sinh từ cuộc sống hằng ngày.

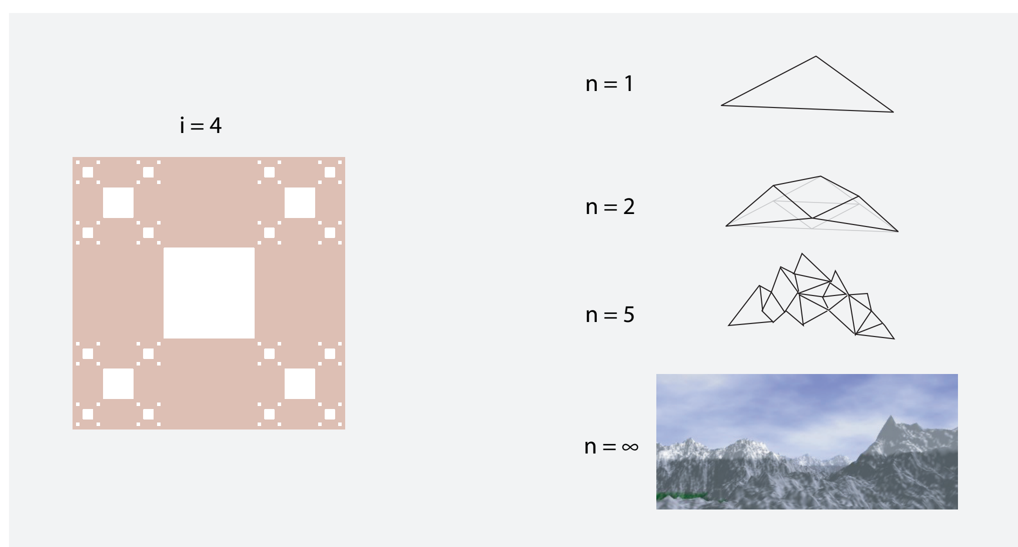
Núi non và fractal

Khi ta leo núi, ta theo biên dạng của nó. Biên dạng này thường được mô tả như một mặt cong 2 chiều. Điều này có đúng không? Có nhiều khả năng khác nhau. Trong đó có một ý kiến phổ biến: núi có thể là các mặt fractal. Một *fractal* theo định nghĩa của Benoît Mandelbrot là tập hợp một số vô hạn nhưng đếm được các phần tử tự đồng dạng. Ta đã Trang 57 gặp các đường fractal. Một thí dụ về giải thuật xây dựng một *mặt* fractal (ngẫu nhiên) được trình bày ở bên phải của Hình 233. Nó tạo ra các hình dạng trông rất giống các Xem 246 ngọn núi thực. Các kết quả này hiện thực đến nỗi chúng thường được sử dụng trong các film Hollywood. Nếu sự mô tả này chính xác thì núi có thể linh hoạt nhưng không liên tục.

Nhưng núi non cũng có thể là các hình fractal khác nhau, như ta thấy ở bên trái của Hình 233. Bề mặt của núi có thể có vô hạn các lỗ nhỏ và nhỏ hơn. Đúng ra ta cũng có thể tưởng tượng các ngọn núi được mô tả giống như những phiên bản 3 chiều của phần bên trái của hình này. Như vậy núi là một loại phô mai Thuỵ Sĩ toán học. Bạn có thể nghĩ ra một thí nghiệm để xét xem các hình fractal có mô tả đúng các núi đồi hay không? Câu đố 563 s Để giải quyết vấn đề ta hãy nghiên cứu các thanh chocolate, xương, cây cối và các bong bóng xà bông.

Một thanh chocolate có thể ăn hoài không hết không?

Đứa trẻ nào cũng biết cách làm cho một thanh chocolate ăn hoài không hết: mỗi ngày ăn phân nửa phần còn lại. Tuy vậy, phương pháp này chỉ khả dụng nếu vật chất có tính bất biến tỷ lệ. Nói cách khác, phương pháp này chỉ khả dụng nếu vật chất là vật *fractal*, vì nó sẽ bất biến tỷ lệ đối với một tập hợp rời rạc các hệ số tỷ lệ, hoặc là *liên tục*, tức là nó sẽ bất biến tỷ lệ đối với một hệ số tỷ lệ bất kỳ. Nếu có 2 trường hợp thì thiên nhiên rơi vào trường hợp nào?



HÌNH 233 Sàn nhà (hình bên trái) và núi (hình bên phải) có thể là các hình fractal; đối với núi sự gần đúng này thường được sử dụng trong đồ hoạ máy tính (image © Paul Martz).

Trang 54 Ta đã gặp một sự kiện khiến cho tính liên tục trở thành một giả định đáng ngờ: tính liên tục sẽ cho phép ta, như Banach và Tarski đã chứng minh, gia tăng lượng thực phẩm và các vật liệu bất kỳ khác bằng cách cắt ráp một cách thông minh. Tính liên tục cho phép trẻ em ăn một lượng chocolate *như nhau* mỗi ngày mà không cần phải mua thêm.

▷ Như vậy vật chất không liên tục.

Ta không thể loại chocolate fractal bằng cách này nhưng thí nghiệm đã giải quyết vấn đề. Thật vậy, ta nên nhớ rằng vật liệu nóng chảy không có thể tích nhỏ hơn vật liệu rắn và ngay cả dưới áp suất lớn nhất, vật liệu cũng không co nhỏ lại. Ta lại có thể kết luận

▷ Vật chất không phải là vật fractal.

Như vậy cấu trúc của nó là gì?

Để có một ý tưởng về cấu trúc của vật chất ta có thể lấy chocolate lỏng hay ngay cả một ít dầu – là thành phần chính của chocolate – và trải nó trên một bề mặt rộng. Thí dụ như ta có thể trải một giọt dầu trên một hồ nước vào một ngày không mưa gió; việc quan sát phần nước có phủ dầu và không phủ dầu khá dễ: chúng làm thay đổi tính chất phản xạ, bầu trời được phản chiếu trên mặt nước và trên mặt dầu có màu khác nhau. Một giọt dầu nhỏ không thể che phủ một diện tích lớn hơn – bạn có thể đoán ra bao Câu đố 564 s nhiêu không? Nước phủ dầu và không phủ dầu có màu khác nhau. Cố gắng trải rộng màng dầu chắc chắn sẽ *làm cho nó bị rách*. Nỗ lực của em bé không thể kéo dài việc ăn chocolate: nó sẽ đột ngột chấm dứt. Thí nghiệm giọt dầu, có thể thực hiện ngay tại nhà, chứng tỏ rằng màng dầu có một chiều dày *cực tiểu*, khoảng 2 nm.* Thí nghiệm chứng

* Thí nghiệm giọt dầu đã được Thomson-Kelvin công bố, vài thập niên sau thí nghiệm xác định kích thước



HÌNH 234 Sự trải rộng của một giọt dầu 1/2 microlitre, nhỏ ra từ một ống micropipette, trên một mét vuông nước có phủ một lớp mỏng bột lycopodium (© Wolfgang Rueckner).

tỏ rằng dầu có một kích thước cực tiểu. Nó được cấu tạo từ các thành phần tí hon. Điều này có đúng cho *mọi* chất không?

Trường hợp của Galileo Galilei

Sau thời Trung cổ, Galilei (b. 1564 Pisa, d. 1642 Arcetri) là người đầu tiên phát biểu rằng *mọi* vật chất đều được tạo thành từ các phần rất nhỏ, mà ông gọi là *piccolissimi quanti*, tức là lượng tử nhỏ nhất. Ngày nay chúng được gọi là *nguyên tử*. Tuy vậy, Galilei đã gánh chịu nhiều hậu quả do phát biểu này.

Thật vậy, trong đời mình, Galilei bị tấn công vì 2 lý do: vì ý tưởng về chuyển động của Trái đất và về nguyên tử.* Khám phá ra tính quan trọng của cả 2 vấn đề là công trạng của

phân tử của Loschmidt. Người ta thường cho rằng Benjamin Franklin là người đầu tiên tiến hành thí nghiệm giọt dầu; điều này sai. Franklin không đo được chiều dày, thậm chí còn không quan tâm đến vấn đề chiều dày. Ông đã đổ dầu lên nước nhưng lỡ mất cơ hội rút ra kết luận quan trọng nhất từ việc đó. Ngay cả thiên tài cũng không thể khám phá ra mọi điều.

* Để có cái nhìn rõ ràng về những vấn đề tranh cãi trong trường hợp của Galilei, đặc biệt những vấn đề

sử gia vĩ đại Pietro Redondi, cộng tác viên của một sử gia vĩ đại khác, Pierre Costabel. Một trong những chủ đề nghiên cứu của Redondi là lịch sử các cuộc tranh cãi giữa các giáo sĩ dòng Tên, vào lúc đó biện hộ cho thần học chính thống giáo và Galilei cùng các khoa học gia khác. Trong thập niên 1980, Redondi khám phá một tài liệu của thời kỳ lịch sử đó, một sự lên án ẩn danh được gọi là G3, cho phép ông chứng tỏ rằng sự kết án chung thân Galilei vì quan điểm của ông về chuyển động của trái đất đã được những người bạn của Giáo hoàng sắp xếp nhằm *bảo vệ* cho ông tránh khỏi án tử hình do một vấn đề khác: nguyên tử.

Trang 337
Galilei bảo vệ quan điểm, giải thích một cách ngắn gọn, vì vật chất không bất biến tỷ lệ nên nó phải được tạo thành từ các 'nguyên tử' hay như ông gọi chúng, *piccolissimi quanti*. Đây đã và hãy còn là một sự dị giáo, vì nguyên tử mâu thuẫn với tư tưởng chính thống của Thiên chúa giáo là trong Lễ ban thánh thể *các tính chất mà ta cảm nhận được* trong bánh mì và rượu vang thì tồn tại độc lập với *chất làm ra nó*. Sự phân biệt giữa chất liệu và các tính chất, do Thomas Aquinas, đưa ra chỉ có ý nghĩa với *sự hoá thể*, sự biến đổi bánh mì và rượu vang thành thân thể và máu của Chúa, là giáo lý cơ bản của đạo Thiên Xem 247 chúa. Đúng ra, cho đến hôm nay, những người sùng đạo vẫn còn không được phép tin vào nguyên tử vì khái niệm này mâu thuẫn với sự hoá thể. Trái lại, những người theo đạo Tin lành thường không ủng hộ sự hoá thể và do đó không có vấn đề gì với nguyên tử.

Trong thời Galilei, toà án tôn giáo trừng phạt những kẻ dị giáo, tức là những ý kiến cá nhân đi lệch khỏi thần học chính thống giáo, bằng án tử hình. Nhưng Galilei không bị kết án tử. Mạng sống của Galilei được Giáo hoàng giải cứu bằng cách làm cho vấn đề hoá thể không phải là một chủ đề của phiên xử và bằng cách bảo đảm rằng phiên xử ở toà án dị giáo được một hội đồng đứng đầu là cháu của Giáo hoàng, Francesco Barberini, tổ chức. Nhưng Giáo hoàng cũng muốn Galilei bị trừng phạt vì ông cảm thấy rằng tư tưởng của mình bị chế nhạo trong quyển sách *Il Dialogo* của Galilei và cũng vì chính sách đối ngoại của ông bị chỉ trích nên ông không thể bỏ qua hay để yên vấn đề này.

Kết quả là năm 1633 ông già 70 tuổi Galilei bị kết án tù, 'sau lời khẩn cầu chúa Jesus Christ', vì 'sự nghi ngờ mang tính dị giáo' (và như vậy không phải là vì sự dị giáo), vì Xem 248 ông không làm theo lời hứa trước đó là không thuyết giảng rằng Trái đất chuyển động. Thật vậy, chuyển động của Trái đất mâu thuẫn với những điều Thánh kinh rao giảng. Galilei đã tin rằng *chân lý* được chứng minh bằng thí nghiệm, còn toà án dị giáo cho rằng chân lý được chứng minh bằng một quyển sách – và bởi chính nó. Trong nhiều lá thư mà Galilei đã viết trong cả quãng đời của mình ông cho rằng việc tin vào chân lý thực nghiệm không bao giờ là điều trái với giáo lý. Toà án cho ông là kẻ chống đối: ông Xem 249 buộc phải nhận rằng mình sai khi thuyết giảng rằng Trái đất chuyển động. Sau đó, Giáo hoàng giảm hình phạt từ án tù thành quản thúc tại gia.

Sự lên án Galilei về chuyển động của Trái đất không phải là đoạn cuối câu chuyện. Trong những năm sau khi Galilei qua đời, Thuyết nguyên tử cũng bị lên án trong nhiều phiên toà chống lại tư tưởng Galilei và những người ủng hộ ông. Nhưng tác dụng của các phiên toà này không đúng theo dự kiến của toà án dị giáo. Chỉ 20 năm sau phiên toà nổi tiếng đó, khoảng năm 1650, mọi thiên văn gia trên thế giới đều tin rằng Trái đất

---

quan trọng đối với các nhà vật lý, quyển sách hay nhất là của PIETRO REDONDI, *Galileo eretico*, Einaudi, 1983, được dịch sang tiếng Anh là *Galileo Heretic*, Princeton University Press, 1987.. Nó cũng được dịch sang nhiều thứ tiếng khác; một ấn bản được cập nhật bao gồm các khám phá mới nhất trong năm 2004.

chuyển động. Và kết quả của các phiên toà chống lại Thuyết nguyên tử vào cuối thế kỷ 17 là trong thực tế mọi khoa học gia đều tin vào sự hiện hữu của nguyên tử. Các toà án chỉ tăng tốc một hiệu ứng phụ: sau Galilei và Descartes, trung tâm nghiên cứu và cách tân khoa học dịch chuyển từ các quốc gia Thiên chúa giáo như Ý và Pháp tới các quốc gia Tin lành. Trong số này, như Hoà Lan, Anh, Đức và các quốc gia Scandinavia, toà án dị giáo không có quyền hạn gì. Ngày nay người ta vẫn còn nhận thấy sự dịch chuyển này.

Có một chuyện đáng buồn là năm 1992, nhà thờ Thiên chúa giáo *không chịu* thu hồi bản án của Galilei. Trong năm đó, Giáo hoàng John Paul II đã đề cập đến bản án của Galilei. Trong nhiều năm trước đó, ông đã yêu cầu một uỷ ban nghiên cứu đánh giá lại bản án vì ông muốn bày tỏ sự hối tiếc về những điều đã xảy ra và muốn phục hồi danh dự cho Galilei. Uỷ ban này làm việc trong 12 năm. Nhưng giám mục trình bày bản báo
Xem 251
cáo sau cùng là một tên lừa đảo: ông ta không trích dẫn kết quả nghiên cứu của uỷ ban, phát biểu lệch lạc về luận điểm của hai phía trong chủ đề chân lý, cho rằng lập luận của Galilei về chuyển động của Trái đất thì yếu hơn lập luận của nhà thờ, tóm lược một cách dối trá luận điểm trong quá khứ của nhà thờ về chuyển động của Trái đất, né tránh việc nói rằng bản án tù là một phán quyết không thuyết phục trong vấn đề tư tưởng hay dị giáo, khẳng định không cần bàn luận đến việc phục hồi danh dự và dĩ nhiên không đề cập đến sự hoá thể. Kết thúc cuộc đấu tranh chống lại quyền lực này, Galilei *không được* phục hồi danh dự, khác với điều Giáo hoàng muốn và khác với những điều mà nhiều báo chí thời đó phổ biến; Giáo hoàng chỉ nói rằng 'hai phía đều phạm sai lầm' và tên lừa đảo sau sự việc này được thăng chức.*

Nhưng câu chuyện chưa kết thúc. Các tư liệu về phiên toà, đã bị khoá lại khi Redondi bắt đầu khám phá sự việc, sau đó đã được Giáo hoàng John Paul II cho phép truy cập. Năm 1999, việc này dẫn tới sự khám phá các tư liệu mới, được gọi là EE 291, ý kiến của một chuyên gia nội bộ về vấn đề nguyên tử đã được viết cho phiên toà 1632, một vài
Xem 250
tháng trước khi bắt đầu các thủ tục xét xử. Tác giả của tư liệu này kết luận rằng Galilei thực sự là một người dị giáo trong vấn đề nguyên tử. Như vậy tư liệu này chứng tỏ rằng các lý lẽ bảo vệ cho vấn đề hoá thể trong phiên toà xử Galilei đã được chuẩn bị tỉ mỉ và có hệ thống, như Redondi đã phát hiện. Thật ra ngay cả ở hiện tại, các viên chức nhà thờ và các quyển giáo lý đều cẩn thận tránh né chủ đề nguyên tử; bạn có thể tìm kiếm về các điều được đề cập trên website của Vatican www.vatican.va.

Nhưng Galileo không muốn công kích sự hoá thể; ông muốn đưa ra các ý tưởng về nguyên tử. Và ông đã thực hiện. Mặc dù bị toà án kết án tù, quyển sách cuối cùng của Galilei, *Discorsi*, được ông viết khi đã mù trong căn nhà giam mình, bao gồm các lập luận dẫn tới sự hiện hữu của nguyên tử, hay *piccolissimi quanti*. Nó là một sự trớ trêu của lịch sử khi ngày nay, Thuyết lượng tử, được Max Born đặt tên theo thuật ngữ mà Galilei dùng để gọi nguyên tử, đã trở thành sự mô tả thiên nhiên chính xác nhất.

Quyển IV, trang 15
Galileo đã tận hiến đời mình để tìm ra và kể lại chân lý về chuyển động và nguyên tử. Chúng ta hãy tìm hiểu phương thức ông đã sử dụng để đưa tới kết luận mọi vật chất đều có cấu tạo nguyên tử.

* Ta không nên quá phẫn nộ: tình trạng tương tự cũng đã xảy ra hằng ngày trong nhiều công ty thương mại; nhiều nhân viên có thể kể những câu chuyện tương tự.

Động vật có thể nhảy cao cỡ nào?

Con bọ chét có thể nhảy tới độ cao 100 lần kích thước của chúng, con người chỉ nhảy đến độ cao cỡ kích thước của mình. Đúng ra, các nghiên cứu sinh học đã cho ta một Xem 252 kết quả đơn giản: phần lớn động vật, bất kể kích thước, đều nhảy đến một độ cao như nhau, cụ thể là từ 0.8 đến 2.2 m, dù đó là người, mèo, cào cào, khỉ, ngựa hay báo. Ta đã Trang 80 giải thích điều này trước kia.

Thoạt tiên, kết quả độ cao nhảy được không đổi hình như là một thí dụ đơn giản của bất biến tỷ lệ. Nhưng ta hãy xem xét kỹ hơn. Có một số ngoại lệ thú vị ở hai giới hạn của khối lượng. Ở giới hạn dưới, con ve và các côn trùng nhỏ khác không đạt được độ cao như vậy vì giống như mọi vật nhỏ, chúng gặp vấn đề về sức cản không khí. Ở giới hạn trên, voi không nhảy đến độ cao đó vì làm như vậy sẽ khiến chúng gãy xương. Nhưng tại sao xương lại gãy?

Tại sao mọi người đều có kích thước gần như nhau? Tại sao không có người khổng lồ với chiều cao 10m? Tại sao không có động vật trên cạn nào lớn hơn voi? Galilei đã trả lời câu hỏi này. Xương tạo ra người và động vật sẽ không cho phép một sự thay đổi tỷ lệ như vậy, vì xương của các động vật khổng lồ sẽ sụp đổ dưới trọng lượng mà chúng phải gánh. Một người to lên theo tỷ lệ 10 sẽ có trọng lượng nặng gấp 1000 lần trong khi xương chỉ to ra gấp 100 lần. Nhưng tại sao độ bền của xương lại có giới hạn? Chỉ có một cách giải thích: vì các hợp phần của xương gắn với nhau bằng một lực giữ hữu hạn. Khác với xương, vật chất *liên tục* – chỉ có trong phim hoạt hình – không bị gãy và vật chất *fractal* sẽ có độ giòn vô hạn. Galilei kết luận:

▷ Vật chất bị gãy dưới tác dụng của một tải hữu hạn vì nó được tạo thành từ các hợp phần nhỏ cơ bản.

Sự gãy đổ của cây

Cây cối là các cấu trúc quyến rũ. Hãy ghi nhận kích thước của chúng. Tại sao cây có kích thước giới hạn? Trong thế kỷ 16, Galilei đã biết rằng không thể tăng mãi chiều cao của cây: tới một lúc nào đó cây sẽ không thể chịu được sức nặng của riêng mình. Ông đã ước lượng chiều cao tối đa khoảng 90 m; kỷ lục thực sự, vào thời của ông thì chưa được biết, hình như là 150 m, của cây *Eucalyptus regnans* ở Úc. Nhưng tại sao lại có giới hạn đó? Câu trả lời cũng giống như trường hợp của xương: gỗ có độ bền hữu hạn vì nó không bất biến tỷ lệ do nó được tạo thành từ các hợp phần nhỏ, cụ thể là *các nguyên tử*.*

Đúng ra căn nguyên của giới hạn chính xác thì phức tạp hơn. Cây phải không gãy khi gió lớn. Khả năng chống lại gió giới hạn tỷ số chiều cao/chiều dày h/d khoảng từ 50 đối Câu đố 565 s với cây bình thường ($0.2\,\mathrm{m} < d < 2\,\mathrm{m}$). Bạn có thể giải thích điều này không? Cây ốm Xem 254 hơn thì chiều cao nhỏ hơn 10 m để có thể đứng thẳng trở lại sau khi bị gió uốn cong.

Những nghiên cứu về các ràng buộc tự nhiên cũng trả lời cho câu hỏi tại sao cây được Câu đố 566 s làm bằng gỗ mà không bằng thép. Bạn có thể tự kiểm tra là chiều cao cực đại của một cột vật chất đã cho được xác định bằng tỷ số E/ρ^2 giữa suất đàn hồi và bình phương của Xem 255 mật độ vật chất. Trong một thời gian dài, gỗ thực sự là vật liệu có tỷ số này lớn nhất. Chỉ

Xem 253 * Có một yếu tố giới hạn quan trọng khác: cột nước bên trong cây phải không bung ra. Cả 2 yếu tố hình như tạo thành chiều cao giới hạn tương tự nhau.

có gần đây, các khoa học gia về vật liệu đã tạo ra được tỷ số lớn hơn một chút: chất phức hợp sợi.

Tại sao vật liệu lại gãy? Mọi thí nghiệm đều cho ta cùng câu trả lời khẳng định cho lập luận của Galilei: vì có một kích thước nhỏ nhất trong vật liệu. Vật chịu lực sẽ bị bẻ gãy nơi sức bền nhỏ nhất. Nếu một vật hoàn toàn thuần nhất hay liên tục, nó không thể gãy; một vết nứt không có chỗ để bắt đầu. Nếu vật có cấu trúc fractal, phô mai Thuỵ Sĩ, các vết nứt sẽ có chỗ để bắt đầu nhưng chúng chỉ cần một kích động vô cùng nhỏ để làm như vậy.

Những trái banh cứng nhỏ

> “Tôi thích biết rõ nguyên nhân của những sự việc đơn lẻ để có thể làm vua của nước Ba Tư.”
>
> Democritus

Những quan sát chính xác chứng tỏ rằng vật chất không liên tục mà cũng không fractal: mọi vật chất đều được tạo thành từ các hạt cơ bản nhỏ nhất. Galilei, người suy ra sự hiện hữu của chúng nhờ suy nghĩ về những người khổng lồ và cây cối, đã gọi chúng là *các lượng tử nhỏ nhất*. Ngày nay chúng được gọi là *nguyên tử*, để vinh danh một lập luận nổi tiếng nhất của những người Hy Lạp cổ đại. Thật vậy, cách nay 2500 năm, người Hy Lạp đã có nghi vấn sau đây. Nếu chuyển động và vật chất bảo toàn thì các biến đổi đã xảy ra như thế nào? Trường phái triết học của Leucippus và Democritus of Abdera* đã nghiên cứu cẩn thận 2 thí nghiệm. Họ đã nhận thấy rằng *muối hoà tan trong nước*. Họ cũng nhận thấy rằng *cá có thể bơi trong nước*. Trong trường hợp đầu, thể tích nước không tăng khi muối đã hoà tan. Trong trường hợp sau, khi cá tiến lên, chúng sẽ rẽ nước sang 2 bên. Leucippus và Democritus suy ra là chỉ có một cách giải thích thoả mãn cả hai quan sát này đồng thời hoà hợp sự bảo toàn với sự biến đổi: thiên nhiên được tạo thành từ các chỗ trống và các hạt nhỏ, không thể phân chia được.**

Tóm lại, vì vật chất cứng, có hình dạng và không thể phân chia được, Leucippus và

* Leucippus of Elea (Λευκιππος) (*c.* 490 tới *c.* 430 BCE), triết gia Hy Lạp; Elea là một thị trấn nhỏ ở miền nam Naples. Nó ở Ý nhưng thuộc về Magna Graecia. Democritus (Δεμοκριτος) of Abdera (*c.* 460 tới *c.* 356 hay 370 BCE), cũng là triết gia Hy Lạp được mọi người cho là một triết gia vĩ đại nhất của mọi thời. Cùng với thầy của ông là Leucippus, ông là người đặt nền tảng cho Thuyết nguyên tử; Democritus là một tư tưởng gia được nhiều người ngưỡng mộ và là người cùng thời với Socrates. Plato kiêu ngạo nên không bao giờ nói về ông, vì Democritus làm cho thanh danh của ông ta lu mờ. Democritus đã viết nhiều sách nhưng đều thất lạc; trong thời Trung cổ, chúng không được chép lại vì thế giới quan hợp lý và khoa học của chúng, bị những tên cuồng tín, độc quyền trong lĩnh vực sao chép, xem là mối nguy hại. Ngày nay người ta thường nói – một cách sai lầm – rằng Democritus không chứng minh được sự hiện hữu của nguyên tử. Đó là thí dụ điển hình về sự xuyên tạc với mục đích làm cho người ta thấy mình giỏi hơn cổ nhân.

** Câu chuyện này do Lucretius, Titus Lucretius Carus, kể lại trong quyển sách nổi tiếng của ông *De rerum natura*, vào khoảng năm 60 BCE. (Ta có thể tìm thấy bản dịch tiếng Anh ở www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Lucr.+1.1.) Lucretius có liên quan tới nhiều chứng minh khác; trong quyển 1, ông chứng tỏ rằng có chân không trong chất rắn – bằng cớ là độ xốp và sự khác nhau về mật độ – và có trong chất khí – bằng cớ là gió. Ông chứng tỏ rằng mùi vị bắt nguồn từ các hạt và sự bay hơi cũng vậy. (Bạn có thể tìm thêm các
Câu đố 567 ny bằng chứng khác không?) Ông cũng giải thích rằng ta không thể thấy các hạt do kích thước nhỏ bé của chúng nhưng ta có thể cảm thấy tác dụng của chúng và chúng cho phép ta giải thích mọi hiện tượng một cách nhất quán.

Đặc biệt nếu ta tưởng tượng các hạt nhỏ như các trái banh, ta không thể tránh khỏi việc gọi như vậy là
Câu đố 568 d một ý tưởng có nam tính. (Cách tiếp cận có nữ tính là gì?)

Democritus đã tưởng tượng nó *được tạo thành từ các nguyên tử*. Nguyên tử là các hạt cứng, có hình dạng nhưng không thể phân chia được. Như vậy người Hy Lạp đã suy ra rằng *mọi* thí dụ về chuyển động, biến đổi đều bắt nguồn từ sự sắp xếp lại các hạt này. Biến đổi và bảo toàn đã hoà hợp.

Nói cách khác, người Hy Lạp đã tưởng tượng thiên nhiên là một bộ Lego lớn. Các mảnh Lego thì cứng hay *bất khả xuyên thấu*, tức là chúng đẩy nhau khi khoảng cách giữa chúng rất nhỏ. Như vậy các nguyên tử giải thích được lý do tại sao chất rắn ít chịu nén. Các mảnh Lego cũng *hút nhau* khi khoảng cách nhỏ: chúng vẫn dính với nhau. Nguyên tử giải thích được sự hiện hữu của chất rắn. Sau cùng, các viên gạch lego *không tương tác với nhau* khi khoảng cách lớn. Nguyên tử còn giải thích được sự hiện hữu của chất khí. (Thực ra vật mà người Hy Lạp gọi là 'nguyên tử' phần nào tương ứng với vật mà ngày nay ta gọi là 'phân tử'. Thuật ngữ sau được Amedeo Avogadro đưa ra năm 1811 để làm rõ sự khác nhau. * Nhưng ta có thể tạm quên chi tiết này.)

Vì ta không thể nhìn thấy nguyên tử nên phải nhiều năm sau đó mọi khoa học gia mới bị thuyết phục qua các thí nghiệm chứng minh sự hiện hữu của nó. Trong thế kỷ 19, tư tưởng về nguyên tử đã được nhiều thí nghiệm chứng minh một cách ngoạn mục, thí
Trang 389
dụ như sự khám phá ra các 'định luật' về hoá học và về hành trạng của chất khí. Ta sẽ tìm hiểu ngắn gọn những điều thú vị nhất.

Âm thanh của sự im lặng

Khi leo qua các triền núi, ta sẽ đến được các khu rừng phủ đầy tuyết. Hãy ngừng một chút và nhìn quanh. Trời đã tối đen; mọi vật đã ngủ say; không có gió và không có âm thanh. Ta đứng yên, nín thở lắng nghe sự im lặng. (Bạn có thể có cảm giác tương tự khi ở trong một phòng ghi âm hay trong một phòng ngủ yên lặng vào ban đêm.) Trong trường hợp hoàn toàn yên lặng, tai trở nên nhạy hơn; **lúc đó ta có một trải nghiệm lạ kỳ. Ta nghe thấy 2 tiếng động, một thấp và một cao, hiển nhiên là được tạo ra trong tai. Thí nghiệm chứng tỏ rằng note cao hơn bắt nguồn từ hoạt động của các tế bào thần kinh ở tai trong. Note thấp hơn bắt nguồn từ nhịp đập của dòng máu đi qua đầu. Nhưng tại sao chúng ta lại nghe có tiếng động?

Nhiều thí nghiệm tương tự khẳng định rằng bất kể ta làm gì thì cũng không bao giờ ta có thể khử được nhiễu, tức là các thăng giáng ngẫu nhiên trong các phép đo. Các loại thăng giáng ngẫu nhiên không tránh khỏi này trong Vật lý được gọi là *tiếng ồn hạt / tiếng ồn Poisson*. Tính chất thống kê của loại tiếng ồn này thực sự tương ứng một cách chính xác với những điều ta mong đợi nếu dòng, thay vì là sự chuyển động của vật chất liên tục, là sự vận chuyển một số lớn các thực thể rời rạc, nhỏ và bằng nhau. Do đó, phép đo chính xác tiếng ồn có thể được sử dụng để chứng minh rằng không khí và chất lỏng được tạo thành từ các phân tử, dòng điện được tạo thành từ các electron và ngay cả ánh sáng được tạo thành từ các photon. Tiếng ồn hạt là âm thanh của sự im lặng.

▷ Tiếng ồn hạt là âm thanh của các nguyên tử.

* Amedeo Avogadro (b. 1776 Turin, d. 1856 Turin) là vật lý gia và hoá học gia quan trọng. Số Avogadro được đặt theo tên ông.

** Tai người có thể phát hiện, trong chế độ nhạy nhất của nó, sự biến đổi áp suất nhỏ nhất là 20 μPa và dao động của màng nhĩ cỡ 11 pm.

Nếu vật chất liên tục hay fractal, không có tiếng ồn hạt.

Cách đếm những vật không nhìn thấy được

Trong đời sống thông thường, ta không thể đếm được các nguyên tử, chủ yếu là vì ta
Xem 256 không nhìn thấy chúng. Điều thú vị là, sự tiến bộ của Vật lý cho phép các học giả đếm được chúng. Như ta đã đề cập, có nhiều phương pháp đo tiếng ồn. *

Trong Vật lý, thuật ngữ *tiếng ồn* không chỉ sử dụng cho các hiệu ứng âm thanh; nó còn được sử dụng cho *các quá trình ngẫu nhiên bất kỳ*. Loại tiếng ồn nổi tiếng nhất là chuyển
Trang 391 động Brown, chuyển động của các hạt nhỏ như hạt phấn hoa nổi trong chất lỏng. Nhưng các hạt nhỏ rơi trong không khí như các hạt thuỷ ngân hay selenium và các thăng giáng này có thể quan sát được, nhờ sự giúp đỡ của các dòng không khí.

Một cái gương dán lên một sợi thạch anh treo trong không khí, đặc biệt ở áp suất thấp, đổi hướng một cách ngẫu nhiên, một lượng rất nhỏ, do sự va chạm của các phân tử không khí. Sự đổi hướng ngẫu nhiên cũng là một loại tiếng ồn, có thể theo dõi bằng cách chiếu một chùm ánh sáng cho phản xạ trên gương rồi quan sát điểm sáng ở một khoảng cách lớn.

Sự thăng giáng mật độ, vẻ trắng sữa tới hạn và độ trộn lẫn tới hạn của chất lỏng cũng là các dạng tiếng ồn. Hoá ra ta có thể sử dụng *mọi* loại tiếng ồn để đếm các nguyên tử. Lý do là tiếng ồn trong thiên nhiên có liên hệ với bản chất hạt của vật chất hay bức xạ. Thật vậy tất cả các phương pháp đã đề cập đều đã được sử dụng để đếm nguyên tử và phân tử cũng như xác định kích thước của chúng. Vì màu sắc của bầu trời là một hiệu ứng liên quan đến tiếng ồn nên chúng ta có thể đếm được các phân tử không khí bằng cách nhìn lên trời!

Xem 257 Khi Rayleigh tìm hiểu hiện tượng tán xạ và lời yêu cầu của Maxwell, ông đã tìm ra một hệ thức giữa hệ số tán xạ β, chiết suất không khí n và mật độ hạt N/V:

$$\beta = 32\pi^3 \frac{(n-1)^2}{3\lambda^4 N/V} \tag{109}$$

Hệ số tán xạ là nghịch đảo của khoảng cách mà cường độ ánh sáng giảm đi 1/e lần. Ta có thể ước lượng khoảng cách này bằng cách xác định khoảng cách xa nhất mà ta có thể thấy được một ngọn núi trong thời tiết quang đãng. Thí nghiệm chứng tỏ rằng khoảng cách này ít nhất là 160 km. Nếu ta đưa kết quả này vào phương trình, ta có thể suy ra số
Câu đố 569 s phân tử trong không khí và số Avogadro!

Kết quả của mọi phép đo chính xác là 1 *mol* vật chất – đối với một chất khí bất kỳ, đó là lượng vật chất chứa trong 22.4 l chất khí đó ở áp suất tiêu chuẩn – luôn luôn chứa cùng một số nguyên tử như nhau.

▷ 1 ***mol*** chứa $6.0 \cdot 10^{23}$ hạt.

Con số này được gọi là *số Avogadro*, đặt theo tên người đầu tiên đã biết rằng thể tích của

* Cũng có nhiều phương pháp khác nhau để đếm nguyên tử bằng cách sử dụng hiện tượng điện giải và xác định điện tích electron bằng cách sử dụng hiện tượng phóng xạ, sự tán xạ tia X hay bằng cách xác định hằng số Planck $\hbar$. Ta tạm thời gác chúng lại vì các phương pháp này thực sự *đếm* các nguyên tử. Chúng chính xác hơn nhưng ít thú vị hơn.

mọi chất khí đều có cùng một số phân tử hay *số Loschmidt*, đặt theo tên người đo nó đầu tiên.* Các phương pháp xác định số Avogadro cũng cho phép ta suy ra là phần lớn các nguyên tử có kích thước trong khoảng từ 0.1 đến 0.3 nm. Các phân tử bao gồm nhiều nguyên tử và lớn hơn một cách tương ứng.

Joseph Loschmidt đã làm thế nào ** để xác định số của ông và số Avogadro, đồng thời xác định một cách đáng tin cậy, kích thước của các hợp tử của vật chất?

Loschmidt đã biết rằng độ nhớt động μ của chất khí được tính theo công thức $\mu = \rho l v/3$, trong đó ρ là mật độ chất khí, v là tốc độ trung bình của các hợp tử và l là quãng đường tự do trung bình. Cùng với tiên đoán của Avogadro (đưa ra năm 1811 mà không có giá trị đi kèm) thì thể tích V của một chất khí bất kỳ luôn luôn chứa cùng một số hợp tử N, ta cũng có $l = V/\sqrt{2\pi N\sigma^2}$, trong đó σ là thiết diện ngang của các hợp tử. (Thiết diện ngang có thể được xem gần đúng là diện tích của cái bóng của vật.) Loschmidt đã giả sử rằng khi chất khí bị hoá lỏng, thể tích chất lỏng là tổng thể tích của các hạt. Sau đó ông đo được các đại lượng liên quan đối với thuỷ ngân, và xác định được N. Như vậy ông xác định được số hạt trong 1 mole vật chất, trong 1 cm^3 vật chất và kích thước của các hạt.

Cảm nhận nguyên tử

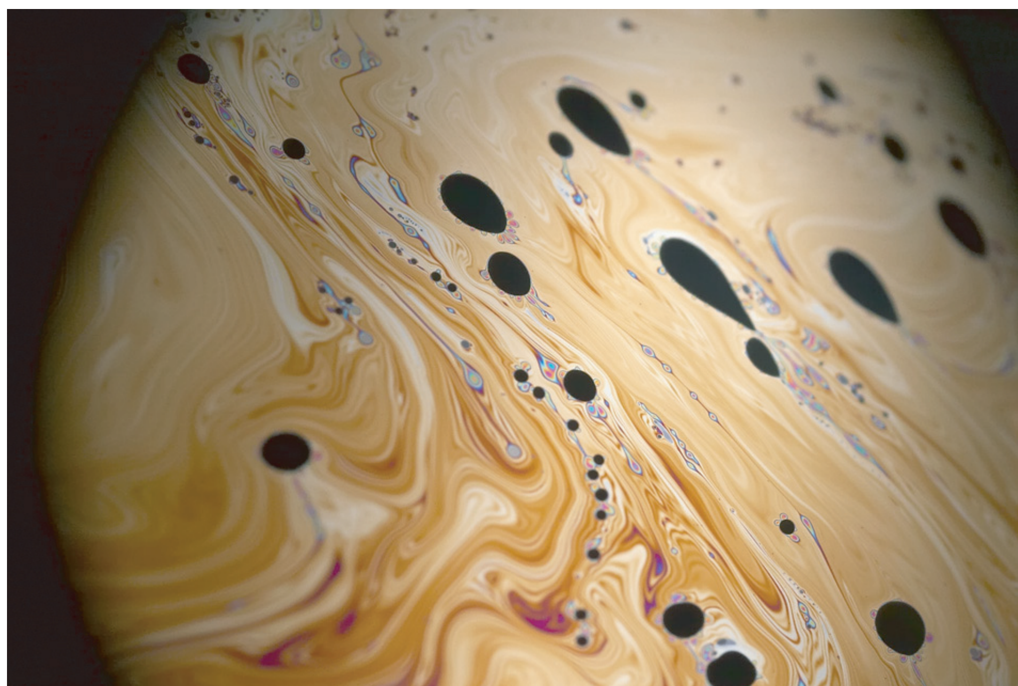
Vật chất không liên tục cũng không fractal. Vật chất chứa các thành phần nhỏ nhất với một kích thước đặc trưng. Ta có thể thấy các hiệu ứng của nguyên tử, phân tử đơn lẻ này trong đời sống hằng ngày không? Có thể thấy được. Ta chỉ cần quan sát *các bong bóng xà bông*. Chúng có màu. Nhưng ngay trước khi vỡ, ở mặt trên của bong bóng, màu sắc bị đứt quãng do các chấm trong suốt nhỏ như ta thấy trong Hình 235. Tại sao? Trong một bong bóng, chất lỏng chảy xuống nên theo thời gian phía trên mỏng dần. Sau một lúc, ở một số nơi không còn chất lỏng mà chỉ còn 2 lớp phân tử xà bông.

Đúng ra sự sắp xếp của các phân tử xà bông hay dầu trên mặt nước có thể được sử dụng để đo số Avogadro. Điều này đã được thực hiện theo nhiều cách khác nhau một
Xem 256
cách tài tình và đã cho một giá trị cực kỳ chính xác bằng những phương tiện rất đơn giản.

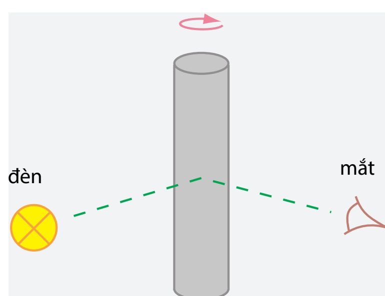
Một thí nghiệm đơn giản chứng tỏ chất rắn có các hợp phần nhỏ nhất được trình bày trong Hình 236. Một thanh hình trụ, bằng nhôm đơn tinh thể cho ta thấy một hiện tượng đáng kinh ngạc khi nó được chiếu sáng từ một phía: độ sáng thay đổi theo hướng của thanh trụ mặc dù nó hoàn toàn tròn. Sự phụ thuộc vào hướng này bắt nguồn từ sự sắp xếp các nguyên tử nhôm trong thanh trụ.

Việc chứng minh bằng thực nghiệm sự hiện hữu của các hợp phần nhỏ nhất trong tinh thể là một điều không khó. Chỉ cần bẻ một chất đơn tinh thể như một tấm bán dẫn gallium arsenide làm hai là đủ. Mặt gãy thì phẳng lì hay có nhiều bậc rất nhỏ, như ta thấy trong Hình 237. Những bậc này có thể thấy được dưới kính hiển vi quang học
Câu đố 570 e
thông thường. (Tại sao?) Tương tự như vậy, Hình 238 cho ta thấy một sai hỏng xuất hiện trong khi tinh thể tăng trưởng. Hoá ra chiều cao của tất cả các bậc như vậy đều là bội số của một chiều cao nhỏ nhất: nó vào khoảng 0.2 nm. Sự hiện hữu của chiều cao cực tiểu, tương ứng với chiều cao của một nguyên tử, mâu thuẫn với mọi khả năng bất biến tỷ lệ trong vật chất.

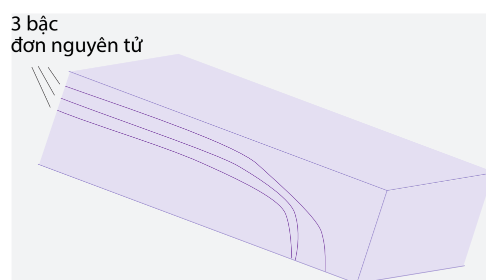
* Thuật ngữ 'số Loschmidt' đôi khi còn được sử dụng để chỉ số phân tử trong 1 cm^3 khí.
** Joseph Loschmidt (b. 1821 Putschirn, d. 1895 Vienna) hoá học gia và vật lý gia.



HÌNH 235 Các bong bóng xà bông thể hiện các hiệu ứng của kích thước phân tử: trước khi vỡ tan, bong bóng xà bông cho ta thấy các chấm đen nhỏ trong suốt; chúng hiện ra dưới màu đen trong hình do nền có màu đen. Các chấm này là các vùng nơi bong bóng có độ dày chỉ 2 phân tử, không có chất lỏng ở giữa (© LordV).



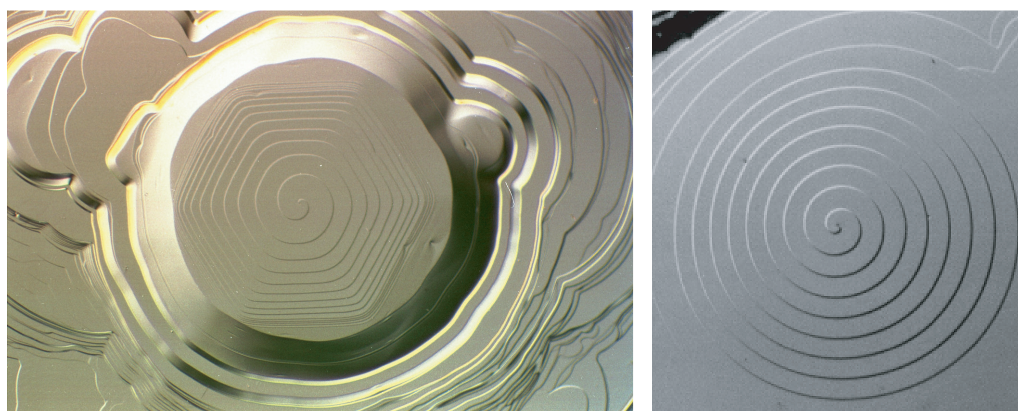
HÌNH 236 Sự hiện hữu của nguyên tử: quay tròn một thanh nhôm đơn tinh thể hoàn hảo, các nguyên tử sẽ làm cho độ sáng dao động



HÌNH 237 Các bậc nguyên tử trong tinh thể (tấm bán dẫn) gallium arsenide bị bẻ gãy có thể nhìn thấy qua kính hiển vi quang học.

Nhìn thấy các nguyên tử

Ngày nay nhờ sự tiến bộ về mặt công nghệ, ta có thể nhìn thấy, chụp ảnh, tạo toàn đồ, Xem 258, Xem 259 đếm, tiếp xúc, di chuyển, nhấc lên, giữ cho lơ lửng và ném đi những nguyên tử *đơn lẻ*. Tất cả các thao tác này chứng tỏ rằng giống như vật chất thông thường, nguyên tử cũng có khối lượng, kích thước, hình dạng và màu sắc. Các nguyên tử đơn lẻ đã được sử dụng Xem 260 làm bóng đèn hay laser. Ta có thể thấy một số kết quả thực nghiệm trong Hình 239,



HÌNH 238 Một hiệu ứng của nguyên tử: các bậc trên các mặt đơn tinh thể – ở đây là silicon carbide phát triển trên mặt carbon của tấm nền (hình bên trái) và trên mặt silicon của tấm nền (hình bên phải) được quan sát dưới một kính hiển vi quang học đơn giản (© Dietmar Siche).

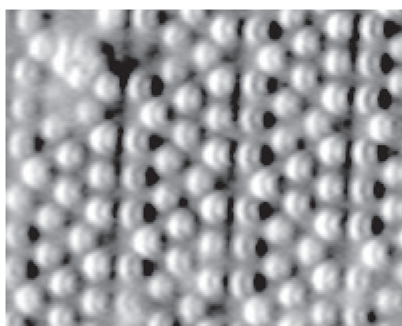


HÌNH 239 Một ion barium đơn lẻ lơ lửng trong bẫy Paul (kích thước ảnh khoảng 2 mm) ở giữa hình, cũng có thể nhìn thấy bằng mắt trần trong thí nghiệm ban đầu, được thực hiện năm 1985 (© Werner Neuhauser).

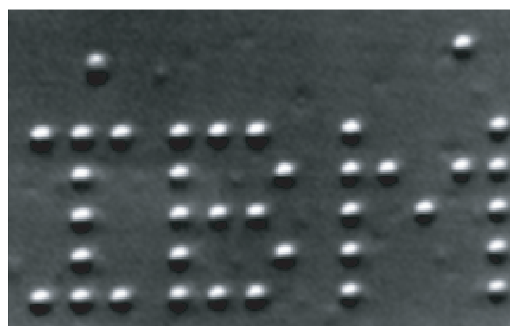
Hình 240 và Hình 241.

Người Hy Lạp tưởng tượng thiên nhiên là một bộ Lego. Và trong thực tế nhiều nhà nghiên cứu hiện đại trong nhiều lĩnh vực đã vui đùa với các nguyên tử giống như cách trẻ em chơi với Lego. Minh chứng đẹp đẽ cho việc này là nhiều ứng dụng của kính hiển Xem 261 vi lực nguyên tử. Nếu bạn có cơ hội sử dụng nó thì đừng bỏ qua! Một kính hiển vi lực nguyên tử là một dụng cụ để bàn đơn giản dò theo bề mặt của một vật bằng một kim nhọn nguyên tử;* những cây kim như vậy, thường bằng tungsten, được chế tạo bằng kỹ Xem 262 thuật khắc acid đơn giản. Sự thay đổi độ cao của kim dọc theo đường đi trên một bề mặt được ghi lại nhờ một tia sáng bị lệch hướng, như ta thấy trong Hình 242. Với một chút thận trọng, các nguyên tử sẽ được cảm nhận và hiển thị trên màn hình máy tính. Nhờ các loại kính hiển vi đặc biệt như vậy, ta có thể sử dụng cây kim này để di chuyển từng

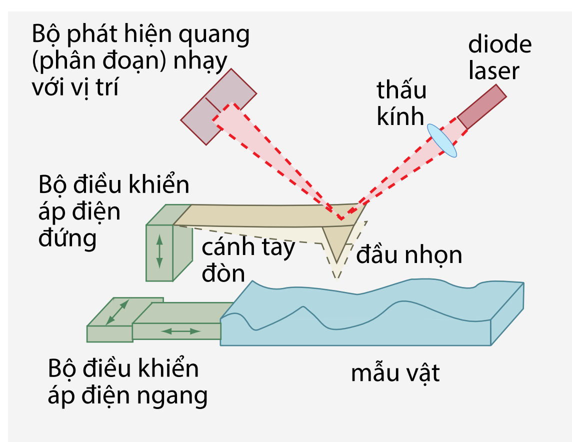
* Một phiên bản rẻ tiền chỉ vài ngàn euro sẽ cho phép bạn nghiên cứu sự khác nhau giữa một tấm silicon – tinh thể – một miếng bột – vô định hình dạng hạt – và một miếng bánh thánh.

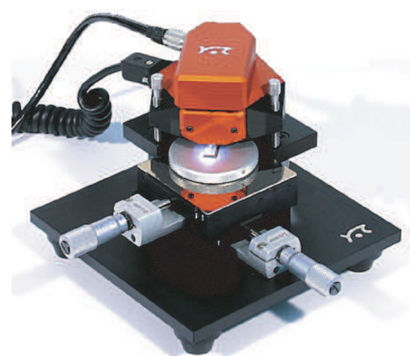


HÌNH 240 Các nguyên tử trên mặt của tinh thể silicon, được hiển thị nhờ một kính hiển vi lực nguyên tử (© Universität Augsburg)



HÌNH 241 Kết quả của việc di chuyển các nguyên tử helium trên một mặt kim loại. Cả việc di chuyển lẫn chụp ảnh đều được thực hiện bằng kính hiển vi lực nguyên tử (© IBM).



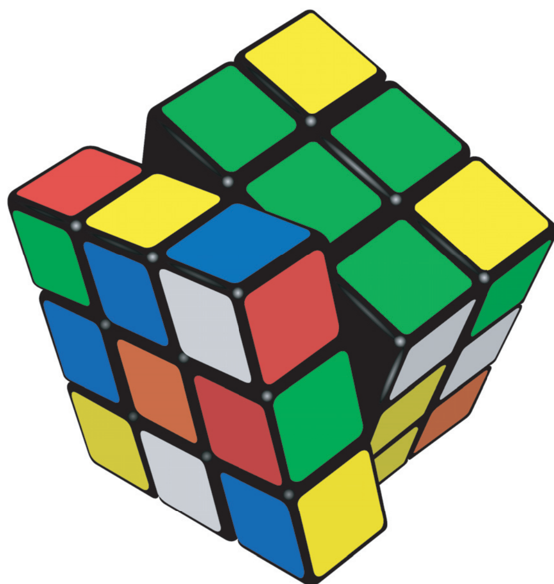


HÌNH 242 Nguyên lý và thể hiện của một kính hiển vi lực nguyên tử (photograph © Nanosurf).

nguyên tử đến các vị trí đã định trên bề mặt. Ta cũng có thể quét một bề mặt, nhặt một nguyên tử đã chọn và ném nó vào một khối phổ kế để xác định nó thuộc loại nguyên tử Xem 263 nào.

Điều tình cờ là kết cấu của kính hiển vi lực nguyên tử chỉ là một cải tiến nhỏ những gì mà thiên nhiên đã xây dựng hàng triệu lần; khi ta sử dụng tai để nghe, ta đang thực sự phát hiện những thay đổi nơi màng nhĩ nhỏ đến mức 11 pm. Nói cách khác, ta đã có 'kính hiển vi lực nguyên tử' có sẵn trong đầu mình.

Tại sao việc biết được vật chất được cấu tạo từ các nguyên tử lại hữu ích như vậy? Chỉ cần biết *kích thước* của các nguyên tử là ta có thể hiểu và tìm ra được nhiều tính chất của vật liệu. Kích thước nguyên tử xác định mật độ khối lượng, suất đàn hồi, sức căng mặt ngoài, hệ số giãn nở nhiệt, nhiệt hoá hơi, nhiệt nóng chảy, độ nhớt, nhiệt dung riêng, hệ Câu đố 571 s số khuếch tán nhiệt và độ dẫn nhiệt. Bạn chỉ cần thử.



HÌNH 243 Khối vuông Rubik: sự phức tạp của chuyển động 3 chiều (© Wikimedia).

Các câu đố vui và lạ về chất rắn và nguyên tử

Thuỷ tinh là chất rắn. Tuy vậy, nhiều sách giáo khoa cho thuỷ tinh là chất lỏng. Sai lầm này được lưu truyền khoảng 100 năm, có lẽ bắt nguồn từ việc dịch sai một câu trong sách giáo khoa tiếng Đức của Gustav Tamman xuất bản năm 1933, *Der Glaszustand*. Bạn có thể kể ra ít nhất 3 lý do để thuỷ tinh là chất rắn không? Câu đố 572 s

* *

Chiều dài tối đa của một sợi dây treo thẳng đứng là bao nhiêu? Một sợi dây có thể được thả xuống từ một vệ tinh địa tĩnh tới mặt đất hay không? Điều này đồng nghĩa với việc ta có thể tạo ra được một 'thang máy' không gian. Dây cáp sẽ phải dài bao nhiêu? Nó sẽ nặng bao nhiêu? Làm cách nào để bạn có thể xây dựng được một hệ thống như vậy? Nó phải đối diện với những nguy cơ nào? Câu đố 573 s

* *

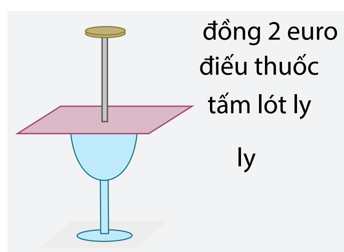
Mọi người đều biết *khối vuông Rubik*. Bạn có thể hay bạn đã biết cách Rubik đã chế tạo ra khối này mà không cần nhìn vào bên trong nó hay không? Và với các khối có kích thước khác? Có giới hạn cho số khối vuông nhỏ hay không? Câu đố này còn hóc búa hơn cả việc tìm ra cách giải (xếp lại) khối vuông. Câu đố 574 s

* *

Câu đố 575 e Xếp 6 que diêm sao cho mỗi que đều tiếp xúc với 5 que còn lại.

* *

Vật lý thường giúp ta thắng cược. Hãy xem Hình 244 để tìm ra cách giải câu đố của Wolfgang Stalla.



HÌNH 244 Bạn có thể chuyển đồng tiền vào trong ly mà không chạm vào bất cứ vật gì không?

* *

Nguyên tử tạo thành vật chất. Trong nhiều thế kỷ sự bảo thủ của nhiều người đã làm cho ta mất đi nhiều bảo vật. Trong hàng ngàn năm, người ta nghĩ rằng có thể phân biệt ngọc trai thật với ngọc trai giả bằng cách lấy búa đập: chỉ có ngọc trai giả mới bể. Tuy nhiên *mọi* ngọc trai đều bể. (Trong điều kiện này thì kim cương cũng bể.) Do sự tin tưởng này, trong nhiều thế kỷ qua, tất cả các viên ngọc trai đẹp nhất thế giới đã bị tan thành nhiều mảnh vụn.

* *

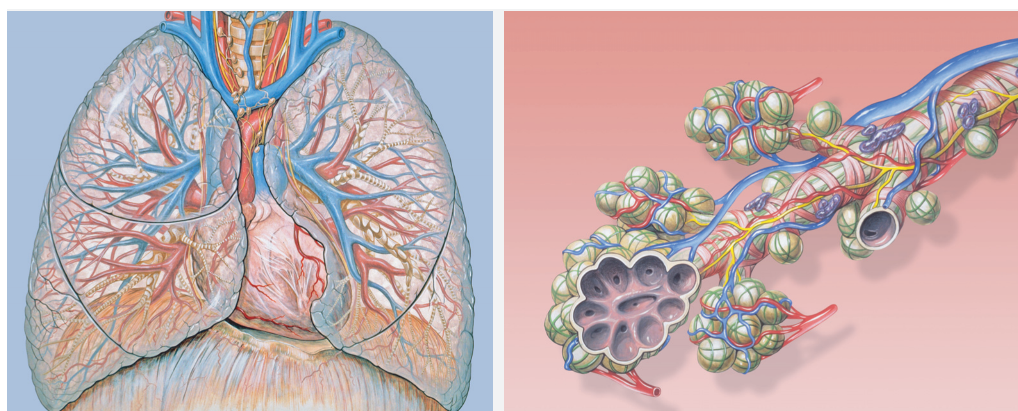
Truyện tranh gặp khó khăn với các khái niệm nguyên tử. Asterix có thực sự tống quân La Mã bay lên không bằng nắm đấm hay không? Các phát súng của Lucky Luke có chính xác không? Tơ của *Người nhện* có giữ được anh ta trong khi đu từ toà nhà này sang toà nhà kia hay không? Roadrunner có thể ngừng chạy trong 3 bước hay không? Có thể làm Mặt trời đứng lại trên bầu trời bằng cách ra lệnh hay không? Phi thuyền không gian có thể bay lượn bằng cách sử dụng nhiên liệu hay không? Hãy chọn một người hùng trong truyện tranh và tự hỏi xem vật chất được tạo thành từ các nguyên tử có cho phép người
Câu đố 576 e đó thực hiện những kỳ công hay không. Bạn sẽ khám phá ra rằng phần lớn các truyện tranh hết sức khôi hài vì chúng giả sử rằng vật chất không gồm các nguyên tử mà là liên tục! Theo một nghĩa nào đó, nguyên tử đã làm cho đời sống trở thành một cuộc phiêu lưu nghiêm túc.

* *

Con người có thể tạo ra động đất không? Có. Đúng ra nhiều trận động đất mạnh *đã được* con người tạo ra. Điều này xảy ra khi các đập nước đầy hay khi nước được bơm vào các lỗ khoan. Người ta cũng cho rằng việc khai thác nước ngầm cũng gây ra động đất. Nếu điều này được khẳng định trong các công trình nghiên cứu trong tương lai, các trận động đất do con người gây ra sẽ chiếm một tỷ lệ đáng kể. Đây là một câu hỏi đơn giản về chủ đề này: điều gì sẽ xảy ra nếu 1 tỷ người Ấn Độ, do bị kích động khi xem TV,
Câu đố 577 s đồng loạt nhảy từ trên bàn ăn xuống sàn nhà?

* *

Nhiều hang động có *thạch nhũ*. Chúng được tạo thành khi có 2 điều kiện: nước nhỏ giọt từ trên trần hang động phải chứa calcium carbonate $CaCO_3$ và độ chênh lệch nồng độ carbon dioxide CO_2 trong nước và trong không khí của hang động phải trên một trị tối thiểu nào đó. Nếu có đủ 2 điều kiện này, khối dung kết vôi sẽ kết tụ và thạch nhũ được hình thành. Làm thế nào để phân biệt đầu thạch nhũ phát triển từ trần hang xuống với



HÌNH 245 Phổi người và các phế nang của nó. (© Patrick J. Lynch, C. Carl Jaffe)

Câu đố 578 s

đầu măng đá mọc từ sàn hang lên? Có sự khác nhau như vậy đối với băng trụ hay không?

* *

Không có hình Fractal. Cấu trúc nào trong thiên nhiên gần giống với chúng nhất? Phổi là một ứng viên, như ta thấy trong Hình 245. Phế quản cứ chia ra bất tận từ 26 đến 28 lần. Mỗi đầu đi đến 1 trong 300 triệu *phế nang*, các hốc 0.25 mm trong đó oxygen được hấp thu vào máu và carbon dioxide được đẩy vào không khí.

* *

Câu đố 579 s

Số chỉ của cân thể trọng sẽ tăng thêm bao nhiêu nếu bạn cân trong chân không?

* *

Một trong những vật linh hoạt, phức tạp nhất là cơ thể con người. Trong các mô phỏng hiện đại về tình trạng của con người trong tai nạn xe hơi, những mô hình cao cấp nhất bao gồm xương sườn, đốt sống, tất cả các xương và cơ quan khác nhau. Đối với mỗi phần, các tính chất biến dạng đặc biệt của nó đều được tính đến. Với các mô hình và mô phỏng như vậy, việc bảo vệ cho hành khách và tài xế trong xe đều được tối ưu hoá.

* *

Cơ thể con người là một kết cấu kỳ diệu. Nó rắn chắc và linh hoạt theo yêu cầu. Ngoài ra, phần lớn các phần cứng như xương không gắn với các phần cứng khác. Từ vài năm nay, các nghệ sĩ và kiến trúc sư đã bắt đầu thám hiểm các kết cấu như vậy. Một thí dụ là tháp được trình bày trong Hình 246. Hoá ra các kết cấu tương tự – đôi khi còn được gọi là cấu trúc *ứng nguyên* – là các mô hình thích hợp cho cột sống của con người. Chỉ cần tìm trên Internet ta sẽ có nhiều thí dụ hơn.

* *

Lỗ khoan sâu nhất vào lòng đất là 12 km. Năm 2003, có người đề nghị mở rộng cái lỗ như vậy rồi đổ hàng triệu tấn sắt lỏng xuống đó. Anh ta cho rằng sắt sẽ chìm vào tâm Trái đất. Nếu một máy đo được thả xuống, nó có thể gởi số liệu đo được lên mặt đất bằng cách sử dụng sóng âm. Bạn có thể cho một số lý do tại sao ta không thể thực hiện



HÌNH 246 Một kết cấu cứng trong đó các mảnh rắn không gắn chặt với nhau (© Kenneth Snelson).

Câu đố 580 s được điều này không?

* *

Tiềm lực kinh tế của một quốc gia từ lâu đã gắn liền với khả năng sản xuất thép chất lượng cao. Thật vậy, cuộc Cách mạng công nghiệp mở màn bằng việc sản xuất thép với số lượng lớn. Mọi khoa học gia đều nên biết các sự kiện cơ bản về thép. *Thép* là hợp chất của sắt và carbon (chất có thể thêm vào các nguyên tố khác, thường là kim loại). Ta có thể phân biệt 3 loại thép chính, tuỳ theo cấu trúc tinh thể. *Thép ferrit* có cấu trúc lập phương thể tâm, như ta thấy trong Hình 247, *thép austenit* có cấu trúc lập phương diện tâm và *thép martensit* có cấu trúc tứ giác thể tâm. Bảng 42 sẽ cho ta nhiều chi tiết hơn.

* *

Một hiện tượng đơn giản đòi hỏi một sự giải thích phức tạp là tiếng vút của ngọn roi. Từ Xem 264 công trình thực nghiệm của Peter Krehl ta đã biết rằng roi rít lên khi tốc độ đầu ngọn Câu đố 581 ny roi bằng *2 lần* tốc độ âm thanh. Bạn có thể tìm ra cách giải thích không?

* *

BẢNG 42 Các kiểu thép, tính chất và việc sử dụng.

Thép Ferrit	Thép Austenit	Thép Martensit
Tính chất xác định		
thép 'thông thường'	thép 'mềm'	thép cứng, dòn
lập phương thể tâm (bcc)	lập phương diện tâm (fcc)	tứ giác thể tâm (bct)
sắt và carbon	sắt, chromium, nickel, mangan, carbon	thép carbon và hợp kim
Thí dụ		
thép xây dựng	phần lớn thép không rỉ (18/8 Cr/Ni)	lưỡi dao
thép khung xe	dụng cụ làm bếp	mặt lưỡi khoan
thép tàu thuỷ	công nghiệp thực phẩm	lò xo, trục khuỷu
ferrit không rỉ 12 % Cr	thép Cr/V của lò phản ứng hạt nhân	
Đặc điểm		
phase được mô tả bằng sơ đồ phase sắt-carbon	phase được mô tả bằng sơ đồ phase Schaeffler	phase được mô tả bằng sơ đồ phase sắt-carbon và sơ đồ TTT (biến đổi thời gian–nhiệt độ)
cân bằng ở nhiệt độ phòng	một số hợp kim cân bằng ở nhiệt độ phòng	không cân bằng ở nhiệt độ phòng nhưng ổn định
cơ tính và kích thước hạt phụ thuộc vào sự nhiệt luyện	cơ tính và kích thước hạt phụ thuộc vào việc tiền xử lý cơ nhiệt	cơ tính và kích thước hạt phụ thuộc mạnh vào sự nhiệt luyện
tôi bằng cách giảm kích thước hạt, rèn, tăng lượng carbon hay nitrat hoá	chỉ tôi bằng cách gia công nguội	luôn luôn cứng – được tạo ra bằng cách chiếu xạ laser, nung nóng cảm ứng, v.v...
các hạt ferrit và paerlit, cementit (Fe_3C)	các hạt austenit	các hạt martensit
thiết từ	không từ tính hay từ tính yếu	thiết từ

Sên xe đạp là một vật linh hoạt mà không có độ cứng. Tuy nhiên, nếu nó được chế tạo để quay nhanh thì nó cần có độ cứng động lực và có thể lăn xuống một mặt phẳng nghiêng hay dọc theo một mặt sàn. Ta có thể xem hiệu ứng kỳ lạ này tại website www.iwf.de/iwf/medien/infothek?Signatur=C+14825.

* *

Ta không nói hết về các thiết bị cơ học trong quyển sách. Hiện nay có nhiều tiến bộ trong lĩnh vực này. Thí dụ như người ta đã chế tạo các robot có thể đi xe đạp 1 bánh. Nhưng vật lý của việc lái xe đạp một bánh của con người thì không đơn giản. Bạn hãy thử xem; nó là một bài tập tuyệt hảo để ta có thể trẻ mãi không già.

Xem 265
Xem 266

* *

Có nhiều lập luận chống lại việc xem nguyên tử là các quả banh cứng. Thomson-Kelvin



HÌNH 247 Thép ferrit có cấu trúc bcc (lập phương thể tâm), như được thể hiện trong tác phẩm Atomium nổi tiếng ở Brussels, một phần của tinh thể sắt được phóng đại đến chiều cao trên 100 m (photo and building are © Asbl Atomium Vzw – SABAM Belgium 2007).

Xem 267 Câu đố 582 s đã viết và nói về "giả thuyết quái dị về các mảnh vật chất cứng rắn vô hạn". Mặc dù Thomson đã đúng ở phần chỉ trích này nhưng nguyên tử vẫn hiện hữu. Tại sao như vậy?

* *

Xem 268 Cát có nhiều cách chuyển động kỳ lạ và vẫn còn điều mới được đều đặn khám phá. Năm 2001, Sigurdur Thoroddsen và Amy Shen khám phá ra rằng một bi thép rơi trên nền cát sau khi đã chìm, sẽ tạo ra một *tia hạt* phun lên khỏi mặt cát. Hình 248 cho ta thấy một chuỗi hình của hiệu ứng. Khám phá này đã kéo theo một phong trào nghiên cứu sau đó.

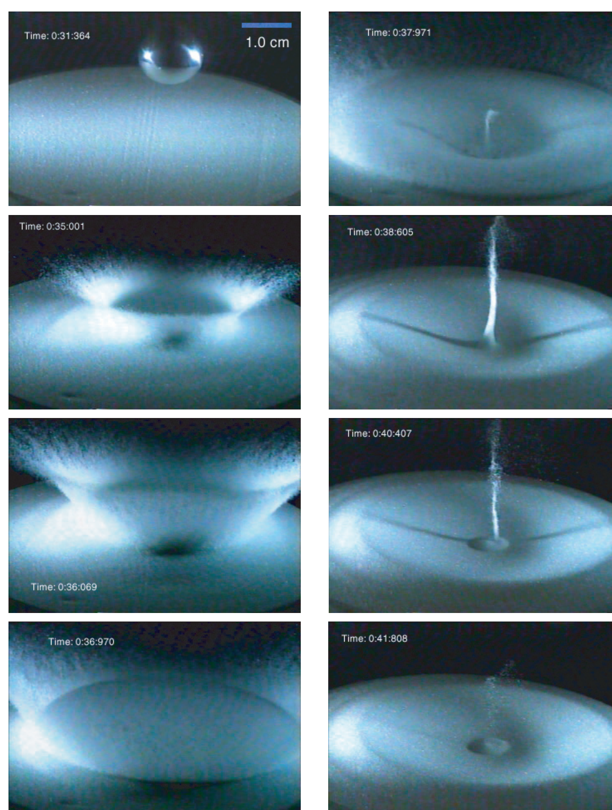
* *

Kỹ thuật không thuộc phạm vi quyển sách này. Tuy vậy nó là một chủ đề thú vị. Một vài thí dụ về những điều mà người kỹ sư đã làm, được trình bày trong Hình 249 và Hình 250.

Tóm tắt về nguyên tử

Vật chất *không* có tính bất biến tỷ lệ: đặc biệt, nó không trơn (liên tục) cũng không fractal. Không có phần tử nhỏ tuỳ ý trong vật chất. Vật chất thông thường được tạo thành từ các thành phần có thể đếm được: *chúng được tạo thành từ các nguyên tử.* Điều này đã được khẳng định đối với mọi chất rắn, lỏng hay khí. Những hình ảnh từ kính hiển vi lực nguyên tử chứng tỏ rằng kích thước và sự sắp xếp của các nguyên tử đã tạo ra *hình dạng* và *sự linh hoạt* của vật thể, khẳng định mô hình Lego của vật chất bắt nguồn từ người Hy Lạp cổ. Các loại nguyên tử khác nhau cũng như cách tổ hợp khác nhau đã tạo ra các loại chất khác nhau.

Việc nghiên cứu vật chất chi tiết hơn – như ta sẽ thực hiện sau đây – sẽ tạo thành một tư tưởng nổi tiếng hiện nay là vật chất, với độ phóng đại ngày càng lớn, được tạo thành



HÌNH 248 Một thí dụ về sự chuyển động kỳ lạ của cát: các tia hạt (© Amy Shen).





HÌNH 249 Những nét nổi bật của kỹ thuật hiện đại: một máy khắc hình để sản xuất các mạch tích hợp và một máy in trên giấy (© ASML, Voith).

từ các phân tử, nguyên tử, hạt nhân, proton, neutron và sau cùng là quark. Nguyên tử cũng chứa các electron. Loại sau cùng của vật chất, neutrino, thì đến từ Mặt trời và các chất phóng xạ. Mặc dù các viên gạch cơ bản đã trở nên nhỏ hơn trong thế kỷ 20, điều này *sẽ không* xảy ra trong tương lai. Ý tưởng cơ bản của người Hy Lạp cổ vẫn còn: vật chất được tạo thành từ các thực thể nhỏ nhất, ngày nay được gọi là *các hạt sơ cấp*. Ở phần phiêu lưu trong Thuyết lượng tử ta sẽ tìm hiểu những hệ quả này một cách chi tiết. Quyển V, trang 261



HÌNH 250 Thỉnh thoảng có những vật chuyển động khác thường băng qua các con đường của Đức (© RWE).

Sau này ta sẽ khám phá ra rằng tính rời rạc của vật chất là hệ quả của việc có mặt của các biến đổi cực tiểu trong thiên nhiên.

Do sự hiện hữu của các nguyên tử, việc mô tả chuyển động thông thường của các vật linh hoạt có thể rút gọn thành việc mô tả chuyển động của các nguyên tử của chúng. Chuyển động nguyên tử sẽ là chủ đề chính trong những trang sau đây. Hai trong số những hệ quả đặc biệt quan trọng là: áp suất và nhiệt.



Chương 12

Lưu chất và chuyển động của chúng

Xem 269

Lưu chất có thể là chất lỏng hay chất khí, bao gồm plasma. Và chuyển động của lưu chất cực kỳ phức tạp như Hình 251 đã cho thấy. Đúng ra chuyển động của lưu chất khá phổ biến và quan trọng – hãy nghĩ về sự hô hấp, sự tuần hoàn của máu và thời tiết. Việc tìm hiểu nó cũng bõ công.

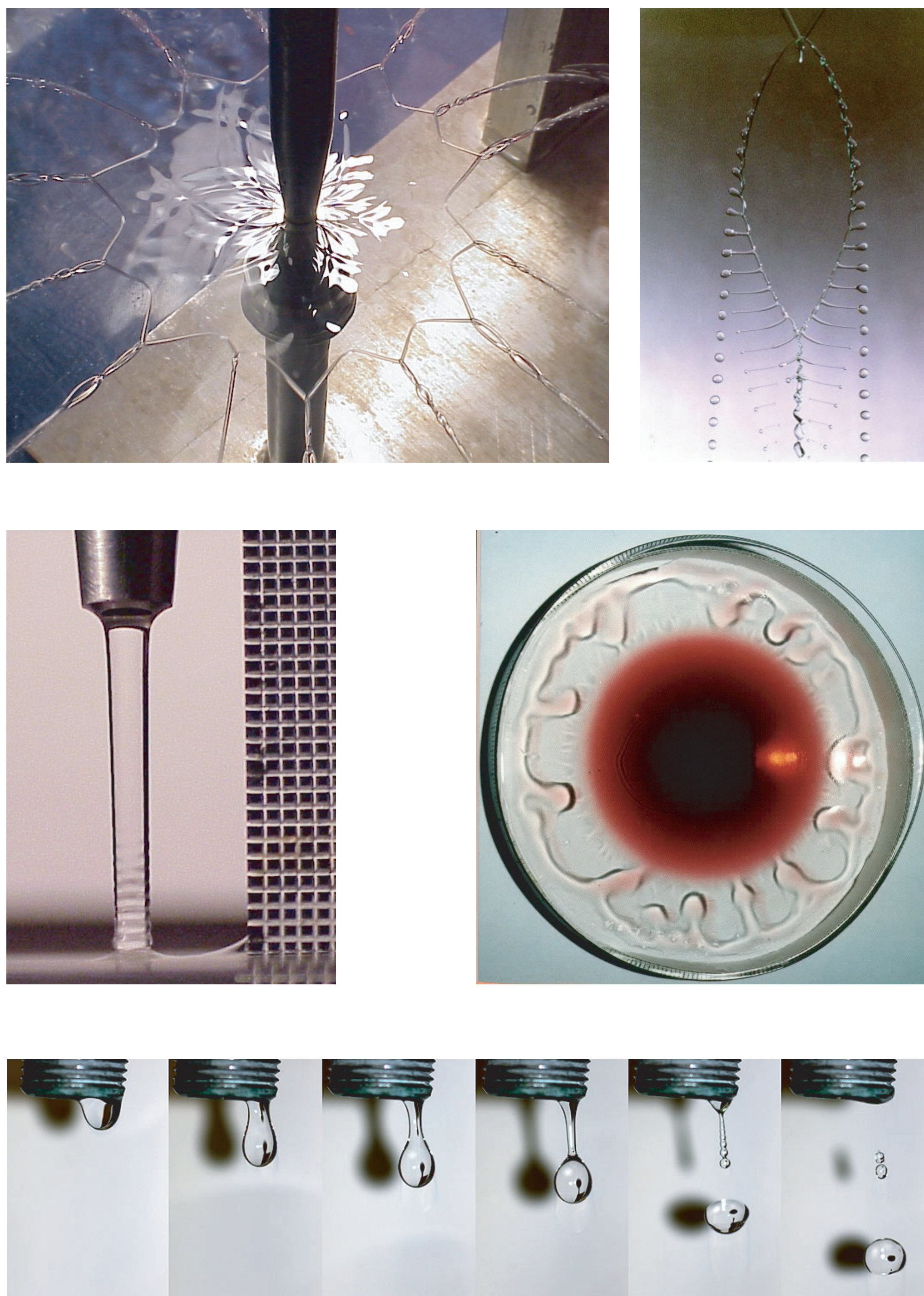
Vật gì có thể chuyển động trong thiên nhiên? – Các loại dòng chảy

Trước khi tiếp tục tìm hiểu lưu chất, ta hãy tiếp cận các loại chuyển động khác nhau trong thế giới quanh ta. Một tổng quan về các loại chuyển động trong thiên nhiên được cho trong Bảng 43. Nó liệt kê chuyển động trong các lĩnh vực khoa học tự nhiên khác nhau trong đời sống thông thường: chuyển động của lưu chất, vật chất, các loại vật chất, nhiệt, ánh sáng và điện tích.

Tất cả các loại chuyển động này là các lĩnh vực của Vật lý môi trường liên tục. Trong mỗi lĩnh vực, bảng này sẽ cho đại lượng chuyển động chính trong lĩnh vực đó. Đại lượng chuyển động – khối lượng, thể tích, entropy hay điện tích – được mô tả bằng một biến động lực *có quảng tính*, tức là một biến động lực có thể tích luỹ. Chuyển động của một biến động lực quảng tính được gọi là một *dòng*. Mỗi loại chuyển động trong thiên nhiên là một dòng. Đại lượng quảng tính là 'chất liệu' chảy.

Trong Vật lý môi trường liên tục, có 2 lĩnh vực mà ta chưa nghiên cứu: chuyển động của điện tích và ánh sáng, *Điện động lực học* và chuyển động của nhiệt, *Nhiệt động lực học*. Khi chúng ta đã thám hiểm những lĩnh vực này thì xem như đã hoàn tất bước đầu tiên trong việc mô tả chuyển động: Vật lý môi trường liên tục. Trong Vật lý môi trường liên tục, chuyển động và thực thể chuyển động được mô tả bằng các đại lượng liên tục có giá trị bất kỳ, kể cả các giá trị vô cùng nhỏ và vô cùng lớn.

Nhưng thiên nhiên *không* liên tục. Ta đã thấy rằng vật chất không thể phân chia vô hạn thành các thực thể nhỏ hơn. Thật vậy, ta sẽ khám phá ra rằng các thí nghiệm chính xác sẽ cho ta giới hạn của các giá trị quan sát được trong *mọi* lĩnh vực của Vật lý môi trường liên tục. Có giới hạn dưới lẫn giới hạn trên cho khối lượng, tốc độ, moment động lượng, lực, entropy và điện tích. Hệ quả của các giới hạn này dẫn tới giai đoạn kế tiếp trong việc mô tả chuyển động: Thuyết tương đối và Thuyết lượng tử. Thuyết tương đối dựa vào giới hạn trên còn Thuyết lượng tử thì dựa vào giới hạn dưới. Ngoài ra, bạn có thể chứng minh được rằng mọi đại lượng có quảng tính đều có một giá trị nhỏ nhất không? Giai đoạn sau cùng của việc mô tả chuyển động là tìm hiểu về sự thống nhất Thuyết lượng tử và Thuyết tương đối.



HÌNH 251 Những thí dụ về sự chảy thành lớp của lưu chất: một dòng nước thẳng đứng chạm vào một vật cản nằm ngang, hai tia hỗn hợp glycerol–nước chạm nhau dưới một góc xiên, một dòng nước chạm vào bể nước trong chuyển động dừng, những giọt rượu vang trong ly (all © John Bush, MIT) và một vòi nước nhỏ giọt (© Andrew Davidhazy).

BẢNG 43 Các dòng trong thiên nhiên: mọi đại lượng quảng tính, tức là các biến động lực đều tích luỹ, chuyển động và chảy.

Lĩnh vực	Đại lượng quảng tính (vật mang năng lượng)	Cường độ (tốc độ dòng)	Đại lượng cường tính (cường độ dẫn động)	Dòng năng lượng (công suất)	Độ kháng dòng (cường độ phát sinh entropy)
Sông	khối lượng m	dòng khối lượng m/t	(hiệu số) độ cao gh	$P = gh\, m/t$	$R_{\text{m}} = ght/m$ $[\text{m}^2/(\text{s kg})]$
Khí	thể tích V	dòng thể tích V/t	áp suất p	$P = pV/t$	$R_{\text{V}} = pt/V$ $[\text{kg}/(\text{s m}^5)]$
Cơ học	động lượng $\boldsymbol{p}$	lực $\boldsymbol{F} = \text{d}\boldsymbol{p}/\text{d}t$	vận tốc $\boldsymbol{v}$	$P = \boldsymbol{v}\, F$	$R_{\text{p}} = \Delta V/F = t/m$ [s/kg]
	moment động lượng $\boldsymbol{L}$	moment lực $\boldsymbol{M} = \text{d}\boldsymbol{L}/\text{d}t$	vận tốc góc $\boldsymbol{\omega}$	$P = \boldsymbol{\omega}\, \boldsymbol{M}$	$R_{\text{L}} = t/(mr^2)$ $[\text{s}/(\text{kg m}^2)]$
Hoá	lượng chất n	dòng chất $I_n = \text{d}n/\text{d}t$	thế hoá học μ	$P = \mu\, I_n$	$R_n = \mu t/n$ $[\text{Js}/\text{mol}^2]$
Nhiệt động lực	entropy S	dòng entropy $I_S = \text{d}S/\text{d}t$	nhiệt độ T	$P = T\, I_S$	$R_S = Tt/S$ $[\text{K}^2/\text{W}]$
Điện	điện tích q	cường độ dòng điện $I = \text{d}q/\text{d}t$	điện thế U	$P = U\, I$	$R = U/I$ $[\Omega]$
Từ	không có nguồn tích luỹ từ trong thiên nhiên				
Ánh sáng	giống như mọi bức xạ không khối lượng, nó có thể chảy nhưng không tích luỹ được				
Hạt nhân	có đại lượng quảng tính nhưng không xuất hiện trong đời sống thông thường				
Hấp dẫn	không gian trống rỗng có thể chuyển động và chảy nhưng chuyển động không thể quan sát được trong đời sống thông thường				

Xem 298

Mỗi lĩnh vực Vật lý bất kể nó thuộc giai đoạn nào đều mô tả sự biến đổi theo đại lượng quảng tính đặc trưng cho lĩnh vực đó và năng lượng. Một đại lượng có *quảng tính* nếu nó tăng theo kích thước của hệ.

▷ Đại lượng *quảng tính* mô tả thực thể có thể chảy trong thiên nhiên.

Các thí dụ là khối lượng, thể tích, động lượng, điện tích và entropy. Bảng 43 cung cấp cho ta một tổng quan đầy đủ. Trong mỗi dòng chảy cũng có một biến động lực vật lý làm cho vật chuyển động:

▷ Đại lượng *cường tính* mô tả cường độ dẫn động của dòng; nó lượng hoá nguyên nhân gây ra dòng chảy.

Các thí dụ là hiệu độ cao, áp suất, tốc độ, thế, hay nhiệt độ.

Đối với mỗi hệ vật lý, *trạng thái* được mô tả bằng một tập hợp các biến động lực quảng tính và cường tính. Một mô tả đầy đủ của chuyển động và một quan sát đầy đủ của một hệ luôn luôn cần cả hai loại biến động lực này.

Các đại lượng quảng tính và cường tính – thực thể chảy và nguyên nhân gây ra dòng chảy – trong trường hợp *lưu chất* là thể tích và áp suất. Chúng là trung tâm của việc mô tả và tìm hiểu các dòng lưu chất. Trong trường hợp của nhiệt, các đại lượng quảng tính và cường tính là *entropy* – đại lượng chảy – và *nhiệt độ* – đại lượng làm cho nhiệt chảy. Ta sẽ tìm hiểu chúng ngay sau đây. Ta cũng cần lưu ý:

▷ Tích của các đại lượng quảng tính và cường tính luôn luôn là năng lượng trong đơn vị thời gian, tức là *công suất* của dòng chảy tương ứng.

Những điểm tương tự trong Bảng 43 có thể được mở rộng. Trong mọi lĩnh vực,

▷ *Dung tích* của một hệ được xác định bằng đại lượng quảng tính chia cho đại lượng cường tính.

Dung tích đo mức độ dễ dàng của việc cho 'chất liệu' chảy vào hệ. Đối với điện tích, sức chứa thường được gọi là *điện dung*. Nếu giá trị lớn tức là dễ thêm điện tích vào hệ. Đối với động lượng, sức chứa được gọi là *khối lượng*. Khối lượng đo độ dễ của việc thêm động lượng vào một hệ. Bạn có thể xác định các đại lượng đo sức chứa trong các trường
Câu đố 583 e hợp khác không?

Trong mọi lĩnh vực, ta có thể lưu trữ năng lượng bằng cách sử dụng đại lượng cường tính – như $E = CU^2/2$ trong một tụ điện hay $E = mv^2/2$ trong một vật chuyển động – hay bằng cách sử dụng đại lượng quảng tính – như $E = LI^2/2$ trong một cuộn dây hay $E = F^2/2k$ trong một lò xo. Kết hợp luân phiên hai phương pháp lưu trữ, ta có sự dao động.

▷ Mọi dòng chảy đều có thể tạo ra dao động.

Câu đố 584 ny Bạn có thể giải thích sự dao động trong các dòng chảy khác không?

Trạng thái của một lưu chất

Để mô tả ý nghĩa của chuyển động trước tiên ta phải mô tả trạng thái của hệ chuyển động. Trong phần lớn các lưu chất, trạng thái được mô tả bằng cách xác định, tại mỗi điểm trong không gian, mật độ, vận tốc, nhiệt độ và áp suất. Như vậy ta có 2 biến động
Trang 382 lực mới: nhiệt độ, mà ta sẽ tìm hiểu trong chương kế tiếp, và áp suất.

Ở đây ta tập trung vào 2 biến động lực mới:

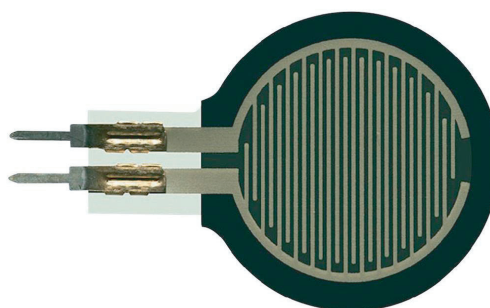
▷ ***Áp suất*** p tại một điểm trong lưu chất là lực tác dụng lên một đơn vị diện tích mà vật, có kích thước có thể bỏ qua, cảm thấy tại điểm đó: $p = F/A$.

Nói cách khác,

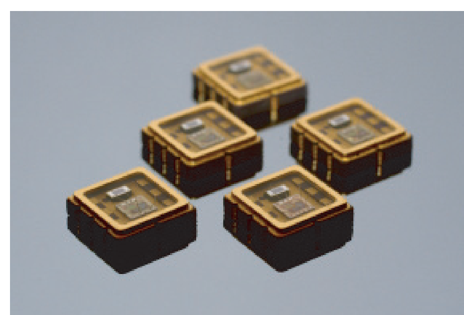
▷ ***Áp suất*** là độ biến thiên động lượng trên một đơn vị diện tích.











HÌNH 252 Các cảm biến áp suất khác nhau: một khí áp ký kiểu cổ, một cảm biến thuỷ áp công nghiệp, một điện trở nhạy áp suất, đường bên hông một con cá và cảm biến áp suất MEMS hiện đại. (© Anonymous, ifm, Conrad, Piet Spaans, Proton Mikrotechnik)

BẢNG 44 Một số giá trị áp suất đo được.

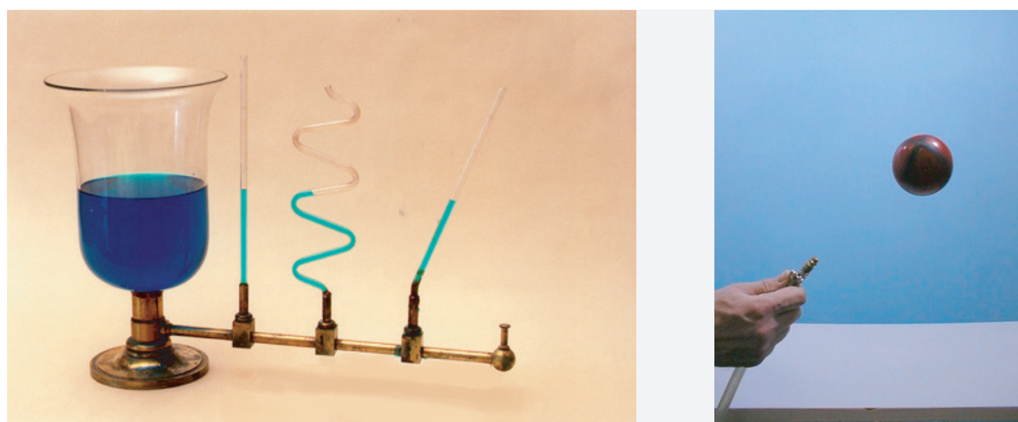
Trường hợp đo	Áp suất
Áp suất (sức căng) âm kỷ lục đo được trong nước, sau khi tinh lọc Xem 270	−140 MPa = −1400 bar
Áp suất âm đo được trong nhựa cây (mạch gỗ) Xem 271, Xem 254	lên tới −10 MPa = −100 bar
Áp suất âm trong chất khí	không có
Áp suất âm trong chất rắn	được gọi là sức căng
Áp suất chân không kỷ lục, đạt được trong phòng thí nghiệm	10 pPa (10^{-13} torr)
Độ biến thiên áp suất ở ngưỡng nghe	20 µPa
Độ biến thiên áp suất ở ngưỡng đau	100 Pa
Áp suất khí quyển ở La Paz, Bolivia	51 kPa
Áp suất khí quyển trong phi cơ hành khách đang bay	75 kPa
Áp suất tính trung bình theo thời gian trong khoang màng phổi của ngực	0.5 kPa, nhỏ hơn áp suất khí quyển 5 mbar
Áp suất khí quyển tiêu chuẩn ở mực nước biển	101.325 kPa hay 1013.25 mbar hay 760 torr
Huyết áp động mạch của người khoẻ mạnh ở độ cao của tim: tâm thu, tâm trương	17 kPa,11 kPa lớn hơn áp suất khí quyển
Áp suất kỷ lục được tạo ra trong phòng thí nghiệm, sử dụng một đe kim cương	*c.* 200 GPa
Áp suất ở tâm Trái đất	*c.* 370(20) GPa
Áp suất ở tâm Mặt trời	*c.* 24 PPa
Áp suất ở tâm sao neutron	*c.* $4 \cdot 10^{33}$ Pa
Áp suất Planck (áp suất cực đại trong thiên nhiên)	$4.6 \cdot 10^{113}$ Pa

Đơn vị của áp suất là pascal: 1 Pa được định nghĩa là 1 N/m^2. Một bộ các giá trị áp suất tìm thấy trong thiên nhiên được cho trong Bảng 44. Áp suất được đo bằng khí áp kế hay các dụng cụ tương tự, như trong Hình 252. Cơ thể người cũng chứa đầy các bộ cảm biến; các tế bào Merkel trong đầu các ngón tay là thí dụ. Ta sẽ tìm hiểu chúng sau. Quyển V, trang 39

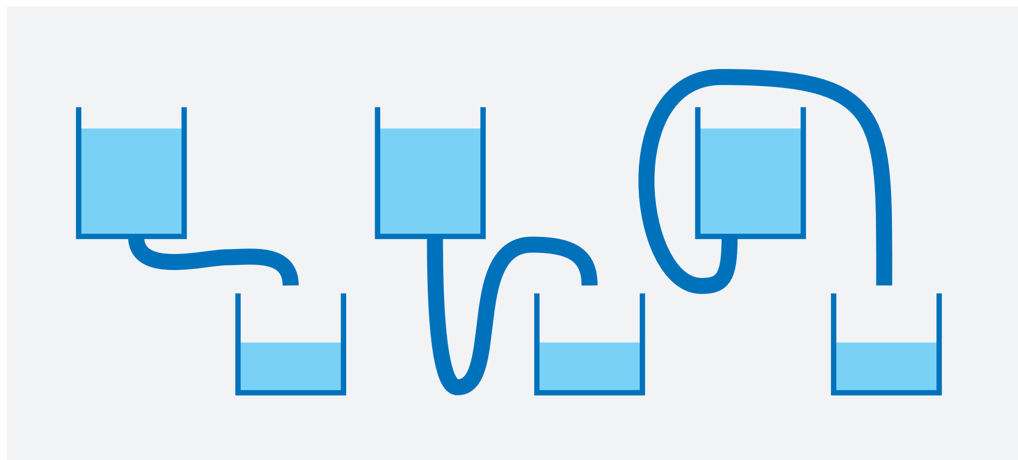
Trong một lưu chất, áp suất không có hướng ưu tiên. Ở biên của lưu chất, áp suất tác dụng lên thành bình chứa. Áp suất không phải là một tính chất đơn giản. Bạn có thể giải thích các hiện tượng trong Hình 254 không? Nếu nghịch lý thuỷ tĩnh – hiệu ứng *bình thông nhau* – không đúng, ta sẽ tạo ra được các động cơ vĩnh cửu một cách dễ dàng. Bạn



HÌNH 253 Daniel Bernoulli (1700–1782)



HÌNH 254 Nghịch lý thuỷ tĩnh và thuỷ động lực (© IFE).



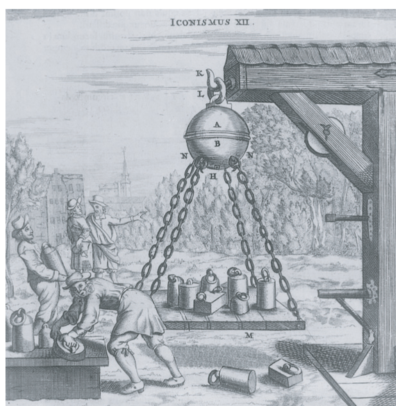
Câu đố 585 s HÌNH 255 Một câu đố: phương pháp nào làm cạn bình chứa nhanh nhất? Phương pháp bên phải có hoạt động không?

Câu đố 586 e có thể nghĩ ra một thí dụ không? Một cấu đố khác về áp suất được cho trong Hình 255.

Không khí quanh ta có áp suất đáng kể, cỡ 100 kPa. Kết quả là ta khó tạo ra chân không; thật vậy, các lực thông thường quá yếu nên không thể thắng nổi áp suất không khí. Người ta đã biết điều này từ nhiều thế kỷ, như Hình 256 đã cho thấy. Phòng thí nghiệm







HÌNH 256 Áp suất không khí tạo ra những lực lớn khủng khiếp, đặc biệt đối với những vật lớn chứa chân không. Điều này được Otto von Guericke chứng minh thường xuyên trong những năm từ 1654 trở đi nhờ các bán cầu Magdeburg của ông và quan trọng nhất là các bơm chân không khác nhau mà ông đã phát minh (© Deutsche Post, Otto-von-Guericke-Gesellschaft, Deutsche Fotothek).

vật lý yêu quý của bạn nên có một bơm chân không và một cặp *bán cầu Magdeburg* nhỏ; hãy tự thưởng ngoạn màn trình diễn thí nghiệm này.

Dòng chảy thành lớp và dòng chảy cuộn xoáy

Giống như mọi chuyển động, chuyển động của lưu chất tuân theo sự bảo toàn năng lượng. Đối với lưu chất không có năng lượng biến đổi thành nhiệt bên trong nó, sự bảo toàn năng lượng rất đơn giản. Chuyển động không sinh nhiệt là chuyển động không có cuộn xoáy; chuyển động lưu chất như vậy được gọi là *chảy thành lớp*. Trong trường hợp đặc biệt, tốc độ của lưu chất không phụ thuộc thời gian ở mọi vị trí, chuyển động lưu chất là *chuyển động dừng*. Dòng chảy không thành lớp được gọi là *dòng chảy cuộn xoáy*. Hình 251 và Hình 257 cho ta một số thí dụ.

Đối với chuyển động thành lớp và dừng, ta có thể diễn tả sự bảo toàn năng lượng theo tốc độ v và áp suất p:

$$\tfrac{1}{2}\rho v^2 + p + \rho g h = \text{const} \qquad (110)$$

trong đó h là độ cao đối với mặt đất, ρ là mật độ và $g = 9.8\,\text{m/s}^2$ là gia tốc trọng lực. Đây là *Phương trình Bernoulli*.* Trong phương trình này, số hạng cuối chỉ quan trọng nếu lưu

* Daniel Bernoulli (b. 1700 Bâle, d. 1782 Bâle), toán gia và vật lý gia quan trọng. Cha của ông, Johann và



HÌNH 257 Hình bên trái: dòng chảy thành lớp không dừng và dừng; hình bên phải: một thí dụ về dòng chảy cuộn xoáy (© Martin Thum, Steve Butler).

chất dâng lên so với mặt đất. Số hạng đầu là động năng (cho một đơn vị thể tích) lưu chất và 2 số hạng kia là thế năng (cho một đơn vị thể tích). Thật vậy, số hạng thứ 2 là kết
Câu đố 587 e quả của sự nén lưu chất. Điều này bắt nguồn từ một cách định nghĩa áp suất khác:

▷ ***Áp suất*** là thế năng tính cho một đơn vị thể tích.

Sự bảo toàn năng lượng hàm ý rằng áp suất càng nhỏ thì tốc độ lưu chất càng cao. Ta có thể sử dụng hệ thức này để đo tốc độ của dòng chảy dừng của nước trong một cái ống. Ta chỉ cần thu hẹp ống ít hay nhiều tại một vị trí dọc theo ống và đo hiệu áp suất ở trước và ở chỗ thắt của ống. Tốc độ v ở xa chỗ thắt sẽ là $v = k\sqrt{p_1 - p_2}$. (Hằng số k là
Câu đố 588 s bao nhiêu?) Thiết bị sử dụng phương pháp này được gọi là máy đo Venturi.

Bây giờ hãy nghĩ về dòng nước. Nếu tính chất hình học cố định còn tốc độ nước tăng lên – hay tốc độ tương đối của một vật trong nước tăng lên – thì đến một tốc độ nào đó ta sẽ quan sát thấy một sự biến đổi: nước hết trong, dòng chảy không dừng và không chảy thành lớp nữa. Ta có thể thấy sự biến đổi này khi ta mở một vòi nước: ở một tốc độ nào đó, dòng chảy đổi từ thành lớp sang cuộn xoáy. Từ lúc này trở đi, phương trình Bernoulli (110) *không còn* đúng nữa.

Người ta chưa thành công trong việc mô tả chính xác hiện tượng cuộn xoáy. Đây có lẽ là bài toán vật lý chưa giải được gai góc nhất. Khi chàng thanh niên Werner Heisenberg được yêu cầu tiếp tục nghiên cứu về hiện tượng này, anh đã từ chối – đúng như vậy –

chú của ông, Jakob là các toán gia nổi tiếng và anh em, cháu của ông cũng vậy. Daniel Bernoulli đã công bố nhiều kết quả về Toán Lý. Trong Vật lý, ông nghiên cứu sự phân tích chuyển động phức tạp thành chuyển động tĩnh tiến và chuyển động quay. Năm 1738 ông công bố quyển sách *Hydrodynamique*, trong đó ông suy ra tất cả các kết quả từ một nguyên lý đơn giản, cụ thể là nguyên lý bảo toàn năng lượng. *Phương trình Bernoulli* phát biểu rằng áp suất của lưu chất giảm khi tốc độ của nó tăng. Ông nghiên cứu hiện tượng triều và nhiều bài toán cơ học phức tạp, giải thích 'định luật' Boyle–Mariotte của chất khí. Nhờ các tài liệu đã xuất bản, ông đã đoạt giải thưởng có uy tín của Viện hàn lâm khoa học Pháp – một tiền thân của giải Nobel – 10 lần.




HÌNH 258 Loại thuyền buồm bướm: một thuyền buồm 30 kg đi trên nước bằng các thuỷ dực, tức cánh ngầm (© Bladerider International).

bằng cách nói rằng nó quá khó; anh tìm cái dễ hơn để nghiên cứu và đã khám phá, mở rộng Thuyết lượng tử. Hiện tượng cuộn xoáy là một chủ đề mênh mông, với nhiều khái niệm chưa được xác định, mặc dù các ứng dụng của nó rất nhiều và quan trọng. Chỉ vào đầu thế kỷ 21, các bí mật của nó mới bắt đầu được khám phá. Xem 272

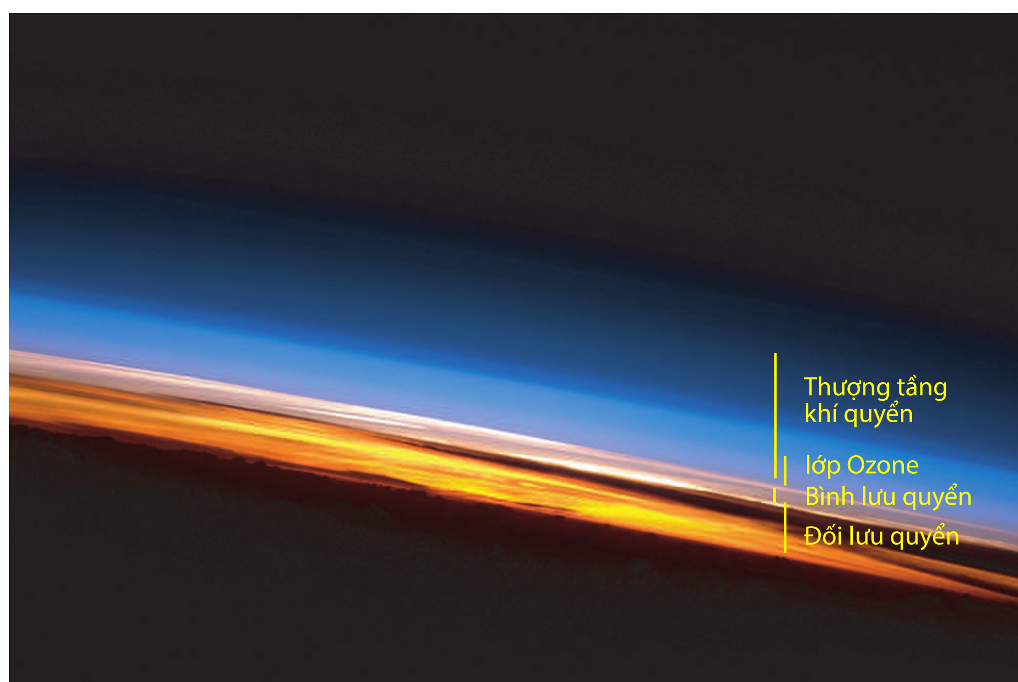
Người ta nghĩ rằng với các phương trình chuyển động mô tả mô tả lưu chất tổng quát nhất, *Phương trình Navier–Stokes*, cũng đủ để hiểu hiện tượng cuộn xoáy.* Nhưng nền tảng toán học của các phương trình này thì khá kinh dị. Có cả một giải thưởng 1 triệu dollars do Viện toán học Clay trao tặng cho ai hoàn thành một số bước trên con đường tìm ra lời giải của các phương trình này.

Các hệ quan trọng thể hiện đồng thời dòng chảy thành lớp, dòng chảy cuộn xoáy và cuộn xoáy là cánh và buồm. (Xem Hình 258.) Cánh và buồm đều hoạt động tốt nhất trong chế độ chảy thành lớp. Bản chất của cánh là truyền cho không khí một vận tốc hướng xuống với thật ít cuộn xoáy. (Cánh bị uốn cong với mục đích làm giảm hiện tượng cuộn xoáy. Nếu động cơ rất mạnh, một cánh phẳng nghiêng cũng có thể giữ phi cơ trong không khí. Tuy vậy, mức tiêu thụ nhiên liệu sẽ tăng lên rất nhiều. Mặt khác, cuộn xoáy mạnh giúp cho việc đáp xuống đất được an toàn.) Chung quanh cánh chim hay phi cơ đang bay, vận tốc hướng xuống của luồng không khí ở phía sau cánh tạo ra lực ly tâm tác dụng lên không khí đi qua phía trên cánh. Điều này tạo ra một áp suất nhỏ hơn và sinh ra lực nâng. (Như vậy cánh *không* dựa trên phương trình Bernoulli, khi áp suất *dọc theo* dòng càng nhỏ thì tốc độ không khí càng lớn, như nhiều sách giáo khoa thường đề cập. Bên trên cánh, tốc độ lớn liên quan tới áp suất *ngang* của dòng chảy nhỏ.) Xem 273

Tốc độ khác nhau của không khí trên và dưới cánh tạo ra các cuộn xoáy ở đuôi cánh. Những cuộn xoáy này đặc biệt quan trọng đối với việc cất cánh của côn trùng, chim hay phi cơ. Một số các đặc tính khác của cánh sẽ được ta tìm hiểu sau.

Quyển V, trang 278

* Chúng được đặt tên theo Claude Navier (b. 1785 Dijon, d. 1836 Paris), kỹ sư xây dựng cầu có uy tín, và Georges Gabriel Stokes (b. 1819 Skreen, d. 1903 Cambridge), vật lý gia và toán gia có uy tín.



HÌNH 259 Ta có thể nhìn thấy được nhiều lớp khí quyển trong bức ảnh hoàng hôn chụp từ Trạm không gian quốc tế, bay ở độ cao hàng trăm km (courtesy NASA).

Khí quyển

Khí quyển, một tấm màn mỏng bao quanh Trái đất như như ta thấy trong Hình 259, đã giúp cho ta sống còn. Khí quyển là một lưu chất bao quanh Trái đất và gồm có $5 \cdot 10^{18}$ kg chất khí. Mật độ không khí giảm theo độ cao: 50 % khối lượng nằm ở dưới độ cao 5.6 km, 75 % trong phạm vi 11 km, 90 % trong phạm vi 16 km và 99,999 97 % trong phạm vi 100 km.*

Ở mực nước biển, mật độ khí quyển trung bình là 1.29 kg/m^3 – khoảng 1/800 mật độ nước – và áp suất là 101.3 kPa; cả 2 giá trị này đều giảm đi theo độ cao. Thành phần khí quyển tại mực nước biển được cho ở Trang 515. Thành phần này cũng thay đổi theo độ cao; thêm nữa, nó còn phụ thuộc thời tiết và mức độ ô nhiễm.

Cấu trúc của khí quyển được cho trong Bảng 45. Khí quyển không còn hành xử như một chất khí ở trên Nhiệt đình, trong khoảng từ 500 đến 1000 km; trên độ cao đó, không còn sự va chạm giữa các nguyên tử nữa. Đúng ra ta có thể cho rằng khí quyển ngưng hành xử như một chất khí thông thường trên 150 km, khi âm không còn truyền đi được nữa, ngay cả ở tần số 20 Hz, do mật độ nguyên tử thấp.

* Độ cao cuối cùng được gọi là *đường Kármán*; nó là độ cao quy ước, tại đó một hệ bay không thể sử dụng lực nâng để bay, mà thường được sử dụng làm ranh giới giữa ngành hàng không và ngành du hành vũ trụ.

HÌNH 260 Các lớp khí quyển chính (© Sebman81).

BẢNG 45 Các lớp khí quyển.

Lớp	Độ cao	Chi tiết
Ngoại quyển	> 500 tới khoảng 10 000 km	chủ yếu được tạo thành từ hydrogen và helium, bao gồm *Từ quyển*, nhiệt độ trên 1000°C, chứa nhiều vệ tinh nhân tạo, thỉnh thoảng có hiện tượng cực quang, và trên đỉnh của lớp là *Địa miện* phát sáng
Ranh giới: *Nhiệt đỉnh* hay *Ngoại để*	giữa 500 và 1000 km	ở trên: không có tính chất 'khí', không có va chạm nguyên tử; ở dưới: có tính chất khí, ma sát với vệ tinh; độ cao thay đổi theo hoạt động của Mặt trời
Nhiệt quyển	từ 85 km tới Nhiệt đỉnh	được cấu tạo từ oxygen, helium, hydrogen và các ion, nhiệt độ lên tới 2500°C, áp suất từ 1 tới 10 µPa; tốc độ của hạ âm khoảng 1000 m/s; âm trên 20 Hz ở độ cao trên 150 km không truyền đi được; chứa Trạm không gian quốc tế và nhiều vệ tinh; đặc biệt là Sputnik và Phi thuyền con thoi
Dị quyển	mọi vật trên Đồng đỉnh	khái niệm riêng biệt bao gồm tất cả các lớp có sự hoà trộn do khuếch tán, tức là phần lớn của Nhiệt quyển và Ngoại quyển
Ranh giới: *Đồng đỉnh*	100 km	ranh giới giữa sự hoà trộn do khuếch tán (ở trên) và sự hoà trộn do cuộn xoáy (ở dưới)
Đồng quyển	mọi vật bên dưới Đồng đỉnh	khái niệm riêng biệt bao gồm phần thấp nhất của Nhiệt quyển và tất cả các lớp bên dưới nó
Ranh giới: *Trung đỉnh*	85 km	nhiệt độ từ −100°C đến −85°C, nhiệt độ thấp nhất 'trên' Trái đất; nhiệt độ phụ thuộc vào mùa; chứa các ion, bao gồm một lớp sodium được dùng để làm các ngôi sao dẫn đường cho kính thiên văn
Trung quyển	từ Bình lưu đỉnh tới Trung đỉnh	nhiệt độ giảm đi theo độ cao, phần lớn là hydrogen, chứa các đám mây dạ quang, tiên nữ, yêu quái, ion; đốt cháy các thiên thạch, có hiện tượng khí triều và hoàn lưu khí quyển từ xích đạo đến địa cực
Ion quyển hay *Từ quyển*	60 km tới 1000 km	một khái niệm riêng biệt bao gồm tất cả các lớp chứa ion tức là Ngoại quyển, Nhiệt quyển và phần lớn Trung quyển
Ranh giới: *Bình lưu đỉnh* (hay Trung đỉnh)	50 tới 55 km	nhiệt độ tối đa giữa Bình lưu quyển và Trung quyển; áp suất khoảng 100 Pa, nhiệt độ từ −15°C tới −3°C
Bình lưu quyển	lên tới Bình lưu đỉnh	phân thành lớp, không có hiện tượng thời tiết, nhiệt độ tăng theo độ cao, khô, có các dao động chuẩn nhị niên, chứa *lớp ozone* trong 20 km thấp nhất của nó, phi cơ và khí cầu
Ranh giới: *Đối lưu đỉnh*	6 tới 9 km ở các cực, 17 tới 20 km ở xích đạo	nhiệt độ −50°C, gradient nhiệt độ bằng 0, không còn nước

BẢNG 45 (Tiếp theo) Các lớp khí quyển.

Lớp	Độ cao	Chi tiết
Đối lưu quyển	lên tới Đối lưu đình	chứa nước và có hiện tượng thời tiết; có đời sống, núi non và phi cơ; làm cho các ngôi sao nhấp nháy; nhiệt độ thường giảm theo độ cao; tốc độ âm khoảng 340 m/s
Ranh giới: *lớp ranh giới bao quanh hành tinh* hay *Bao mạc quyển*	0.2 tới 2 km	phần của Đối lưu quyển chịu ảnh hưởng của ma sát với mặt đất; độ dày tuỳ theo cảnh quan và thời gian trong ngày

Vật lý của tuần hoàn và hô hấp

Chuyển động của lưu chất có tầm quan trọng mang tính sống còn. Có ít nhất 4 hệ tuần hoàn lưu chất trong cơ thể con người. Đầu tiên là *máu* chảy trong mạch máu nhờ quả tim. Thứ 2 là *không khí* tuần hoàn trong phổi nhờ cơ hoành và các cơ ngực khác. Thứ 3 là *bạch huyết* chảy trong các mạch bạch huyết, di chuyển một cách thụ động nhờ các cơ. Thứ 4 là *dịch não tuỷ* tuần hoàn trong não và cột sống, chuyển động nhờ chuyển động của đầu. Vì lý do này, bác sỹ y khoa thích phát biểu đơn giản: mọi bệnh tật đều bắt nguồn từ sự tuần hoàn yếu kém.

Tại sao sinh vật lại có các hệ tuần hoàn? Phải cần đến sự tuần hoàn vì sự khuếch tán quá chậm. Bạn có thể lý luận rõ ràng hơn không? Bây giờ ta hãy tìm hiểu hai vòng tuần hoàn chính trong cơ thể con người.

Câu đố 589 e

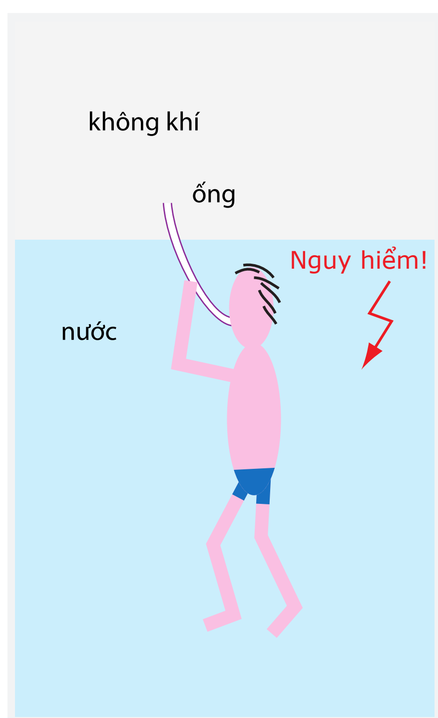
Máu giúp cho ta sống: nó vận chuyển phần lớn các hoá chất cần thiết cho sự biến dưỡng đến và đi khỏi các bộ phận khác nhau của cơ thể. Dòng máu gần như luôn luôn chảy thành lớp; cuộn xoáy chỉ xuất hiện trong tĩnh mạch chủ, gần tim. Tim bơm khoảng 80 ml máu trong mỗi nhịp tim, khoảng 5 l/phút. Khi ta nghỉ ngơi, mỗi nhịp tim tiêu thụ khoảng 1.2 J. Mức tiêu thụ này khá đáng kể vì độ nhớt động của máu nằm trong khoảng $3.5 \cdot 10^{-3}$ Pa s (lớn hơn nước 3.5 lần) và 10^{-2} Pa s, phụ thuộc vào đường kính của mạch máu; nó lớn nhất trong các mao quản li ti. Tốc độ máu cao nhất trong động mạch chủ, 0.5 m/s, và thấp nhất trong các mao quản, 0.3 mm/s. Kết quả là một chất được tiêm vào cánh tay sẽ tới chân trong khoảng từ 20 đến 60 s sau khi tiêm.

Thật ra mọi động vật đều có tốc độ tuần hoàn máu như nhau, thường nằm trong khoảng từ 0.2 m/s và 0.4 m/s. Tại sao?

Câu đố 590 ny

Để hoàn thành vòng tuần hoàn máu, tim phải tạo ra một áp suất (tâm thu) khoảng 16 kPa, tương đương với độ cao khoảng 1.6 m máu. Tim phải đạt được mức này để bơm máu qua não. Khi tim thư giãn, độ đàn hồi của động mạch giữ cho áp suất (tâm trương) khoảng 10 kPa. Các giá trị này đo được ở độ cao của trái tim.* Huyết áp thay đổi nhiều theo vị trí và sự định hướng của cơ thể khi đo: áp suất tâm thu ở bàn chân một người trưởng thành đang đứng lên tới 30 kPa, trong khi nó chỉ có 16 kPa khi người đó nằm. Đối với người đứng, áp suất trong tĩnh mạch bàn chân là 18 kPa, lớn hơn áp suất tâm thu ở tim. Áp suất cao ở bàn chân và chân là một trong những nguyên nhân làm cho tĩnh mạch bị giãn. Thiên nhiên đã sử dụng nhiều kỹ thuật để tránh vấn đề này xảy ra

* Huyết áp đo được trên 2 cánh tay cũng khác nhau; đối với người thuận tay phải, huyết áp bên tay phải sẽ cao hơn.



HÌNH 261 Coi chừng, nguy hiểm! Nếu làm như vậy phổi bạn sẽ bị phá huỷ mà không thể phục hồi đồng thời nó có thể khiến bạn qua đời.

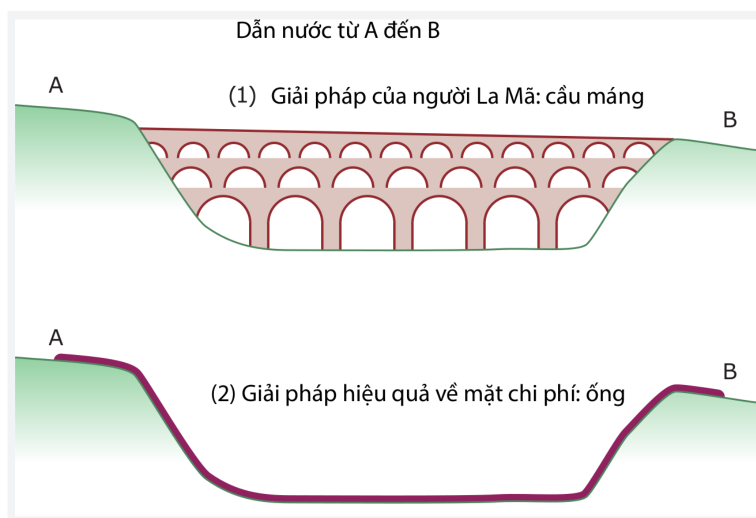
cho sự tuần hoàn máu ở chân. Tĩnh mạch ở chân người có các *van* để ngăn máu chảy xuống; hươu cao cổ có chân rất ốm, da chân chắc và bó sát cũng vì lý do tương tự. Các động vật khác cũng vậy.

Ở cuối các mao quản, áp suất chỉ khoảng 2 kPa. Huyết áp thấp nhất được tìm thấy trong tĩnh mạch đi từ đầu tới tim, nơi nó có thể âm một chút. Cũng do huyết áp, khi một bệnh nhân *truyền thuốc* (qua tĩnh mạch), túi thuốc phải có độ cao tối thiểu trên điểm truyền, nơi kim đi vào cơ thể; giá trị này vào khoảng từ 0.8 tới 1 m để không gây ra sự bất ổn. (Nó có phải là hiệu độ cao cần thiết để truyền máu từ người này qua người kia không?) Vì động mạch có huyết áp cao hơn nên trong trường hợp hiếm hoi phải truyền theo đường động mạch, bệnh viện thường sử dụng các bơm động mạch để tránh yêu cầu về độ cao bất lợi 2 m hay lớn hơn.

Xem 274

Nghiên cứu gần đây đã chứng minh những điều mà từ lâu người ta đã nghi ngờ: trong các mao quản, hồng huyết cầu thay đổi hình dạng và chuyển động. Sự thay đổi hình dạng phụ thuộc đường kính mao quản và tốc độ dòng. Trong mạch máu lớn, hồng huyết cầu thường di chuyển lộn xộn trong dòng máu. Trong mạch máu nhỏ, chúng lăn tròn và thu nhỏ lại bằng nhiều cách khác nhau. Những thay đổi này giải thích cho việc máu chảy dễ dàng hơn, tức là với độ nhớt nhỏ hơn, trong những mạch máu nhỏ hơn. Người ta đã phỏng đoán là việc xáo trộn sự thay đổi hình dạng này có thể liên quan tới những triệu chứng và bệnh tật đặc biệt.

Vật lý của sự hô hấp cũng thú vị không kém. Con người không thể thở được ở độ sâu bất kỳ dưới nước, ngay cả khi anh ta có dùng một cái ống nhô lên khỏi mặt nước như trong Hình 261. Ở độ sâu vài mét, làm như vậy là một sự *liều mạng*! Ngay ở độ sâu chỉ



HÌNH 262 Tốn tiền vì thiếu kiến thức về lưu chất.

có 50 cm, con người chỉ có thể thở bằng cách đó trong vài phút và chịu đau khổ cả đời. Tại sao? Câu đố 591 s

Bên trong phổi, sự trao đổi khí với máu xảy ra quanh 300 triệu hình cầu nhỏ, *phế nang*, có đường kính từ 0.2 đến 0.6 mm. Chúng được trình bày trong Hình 245. Để tránh tình trạng cái lớn to lên và cái nhỏ co lại – như trong thí nghiệm ở Hình 276– các phế nang được bao phủ bằng một chất diện hoạt phospholipid để làm giảm sức căng mặt ngoài. Lúc chào đời, vì bán kính của các phế nang nhỏ, chất diện hoạt ít nên hơi thở đầu tiên, và đôi khi những hơi thở tiếp theo, đòi hỏi một nỗ lực rất lớn. Trang 347 Trang 388

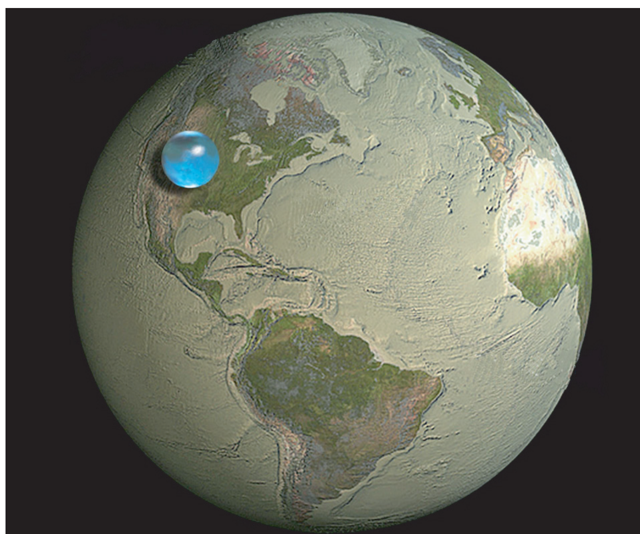
Ta cần khoảng 2 % năng lượng cơ thể dành cho việc hô hấp. Tốc độ không khí trong cổ họng là 3 m/s khi hô hấp bình thường; khi ho, nó có thể lên tới 50 m/s. Dòng không khí trong phế quản là dòng cuộn xoáy; ta có thể nghe được âm thanh của chúng trong một không gian yên lặng. Khi hô hấp bình thường, các cơ hô hấp, lồng ngực và bụng, trao đổi 0.5 l không khí; khi thở sâu, thể tích này có thể lên đến 4 l.

Sự hô hấp đặc biệt phức tạp trong những tình huống bất thường. Sau khi lặn có bình dưỡng khí* ở độ sâu hơn vài mét trong thời gian vài phút, điều quan trọng là phải nổi lên từ từ để tránh nguy cơ tiềm ẩn là mạch máu bị tắc nghẽn. Tại sao? Điều tương tự cũng có thể xảy ra cho những người đi khí cầu, phi cơ, người nhảy dù và phi hành gia trong các chuyến bay ở trên cao. Câu đố 592 e

Những câu đố vui và lạ về lưu chất

Điều gì sẽ xảy ra nếu người ta không biết các quy luật của thiên nhiên? Câu trả lời luôn giống nhau kể từ 2000 năm trước: tiền thuế bị phung phí hay sức khoẻ bị đe doạ. Một trong những thí dụ xưa nhất là cầu máng trong thời La Mã, như ta thấy trong Hình 262. Cầu máng ra đời vì người La Mã không có kiến thức về chuyển động của lưu chất. Hình vẽ cho ta thấy lý do cầu máng không còn.

* Lúc đầu, 'scuba' là chữ viết tắt của 'self-contained underwater breathing apparatus'. Thiết bị chính bên trong nó, 'phổi nước', do Emile Gagnan và Jacques Cousteau phát minh; nó giữ cho áp suất không khí luôn luôn bằng áp suất của nước.



HÌNH 263 Tất cả nước trên Trái đất sẽ tạo thành một hình cầu bán kính khoảng 700 km, như được minh hoạ trong đồ hoạ do máy tính tạo ra. (© Jack Cook, Adam Nieman, Woods Hole Oceanographic Institution, Howard Perlman, USGS)

Ta cũng nên chú ý là việc sử dụng một ống nước 1 hay 2 m theo cách trình bày trong Hình 262 hay trong Hình 255 để vận chuyển xăng có thể gây nguy hiểm. Tại sao? Câu đố 593 s

* *

Lấy một hộp sữa carton rỗng, đục một lỗ bên hông, cách đáy 1 cm. Rồi đục 2 lỗ, mỗi lỗ trên lỗ trước 5 cm. Nếu bạn đổ đầy nước vào hộp và đặt nó trên bàn, dòng nước nào sẽ phun ra xa nhất? Và nếu bạn đặt hộp trên cạnh bàn sao cho nước rơi trên sàn nhà thì sao? Câu đố 594 e

* *

Bồn tắm của bạn đầy nước. Bạn có một bình 3 lít và một bình 5 lít không đánh dấu. Làm cách nào để bạn có thể lấy 4 lít nước trong bồn tắm? Câu đố 595 e

* *

Cách dễ nhất để tạo ra một tia không khí siêu thanh là gì? Chỉ đơn giản là thả một banh billiard vào một xô đầy nước. Người ta đã mất nhiều thời gian để khám phá ra phương pháp đơn giản này. Hãy giải trí bằng việc nghiên cứu chủ đề này. Xem 275

* *

Lưu chất có vai trò quan trọng đối với chuyển động. Nhện có cơ gập chân nhưng không có cơ duỗi chân. Chúng duỗi chân bằng cách nào?

Năm 1944, Ellis khám phá ra rằng nhện duỗi chân bằng các phương tiện thuỷ lực: chúng tăng áp suất của lưu chất trong chân; áp suất này kéo dài chân giống như áp suất nước làm cho ống nước tưới vườn cứng lên. Xem 276 Nếu bạn thích có thể nói chân nhện hoạt động hơi giống cánh tay của máy xúc. Đó là lý do khi nhện chết thì chân cong lại. Cơ chế lưu chất hoạt động khá tốt: nó cũng được nhện nhảy sử dụng.

* *

Nước trong các đại dương – có số lượng được minh hoạ trong Hình 263 – từ đâu đến? Điều thú vị là câu hỏi này chưa được trả lời đầy đủ! Trong những ngày đầu của Trái đất, nhiệt độ cao làm cho nước bốc hơi bay vào không gian. Như vậy nước ngày nay từ đâu đến? (Liệu có khả năng hydrogen đến từ hiện tượng phóng xạ của lõi Trái đất không?) Lời giải thích đáng tin cậy nhất là nước đến từ các sao chổi. Sao chổi được tạo thành, ở mức độ lớn, từ nước đá. Có lẽ Sao chổi đụng vào Trái đất thuở xa xưa đã tạo thành các đại dương. Năm 2011, lần đầu tiên người ta đã chứng minh được bằng kính thiên văn không gian hồng ngoại Herschel của Cơ quan không gian châu Âu, rằng sao chổi từ vành đai Kuiper – khác với các sao chổi bên trong Thái dương hệ – có nước đá mà thành phần đồng vị oxygen giống như các đại dương của Trái đất. Có vẻ như nguồn gốc sao chổi của đại dương đã được giải quyết.

Xem 277

* *

Vật lý của việc lặn dưới nước, đặc biệt là Vật lý của việc lặn nín thở, chứa nhiều điều kỳ diệu và các hiệu ứng mà người ta chưa hiểu hết. Thí dụ như mọi nhà vô địch về lặn không bình hơi đều biết rằng rất khó nín thở trong 5 hay 6 phút trong khi ngồi trên một cái ghế. Nhưng nếu thực hiện trong hồ bơi, các nhà vô địch hiện nay có thể đạt được kỳ công này một cách dễ dàng. Người ta vẫn chưa rõ tại sao lại như vậy.

Xem 278

Có nhiều kỷ lục về lặn không bình hơi. Năm 2009, kỷ lục lặn không bình hơi không giới hạn ở độ sâu khó tin 214 m, là của Herbert Nitsch. Thời gian nín thở tĩnh kỷ lục là trên 11 phút và thở nhanh với oxygen nguyên chất là trên 22 phút. Kỷ lục nín thở động, không chân vịt, là độ sâu 213 m.

Khi một người lặn không bình hơi đến độ sâu 100 m, áp suất nước tương đương với trọng lượng của hơn 11 kg cho mỗi cm vuông trên da. Để tránh các vấn đề về sự bù trừ của áp suất trong tai ở độ sâu lớn, người lặn phải để cho nước tràn vào miệng và khí quản. Phổi của người đó đã co lại còn 1/11 kích thước ban đầu, bằng kích thước của quả táo. Áp suất nước làm cho máu từ chân tay chuyển vào ngực và não. Ở 150 m, không có ánh sáng, âm thanh – chỉ có tiếng tim đập. Và nhịp tim rất chậm: chỉ có 1 lần trong 7 hay 8 s. Người đó trở nên thư giãn và sảng khoái. Người ta chưa hiểu hết về những hiện tượng hấp dẫn này.

Cá nhà táng, *Physeter macrocephalus*, có thể ở dưới nước hơn nửa giờ và lặn tới độ sâu 3000 m. Hải cẩu Weddell, *Leptonychotes weddellii*, có thể ở dưới nước trong 1 giờ rưỡi. Cơ chế của nó chưa rõ ràng nhưng hình như là liên quan tới haemoglobine và neuroglobine. Việc nghiên cứu các cơ chế này khá thú vị vì người ta thấy rằng khả năng lặn tăng cường trí não. Thí dụ như cá voi đầu cong *Balaena mysticetus*, không bị đột quỵ hay thoái hoá não, mặc dù chúng sống đến hơn 200 năm.

* *

Kỷ lục nín thở cho thấy các tác dụng có lợi cho sức khoẻ con người. Do đó *chai oxygen* là một hạng mục phổ biến trong bộ dụng cụ sơ cứu y tế chuyên nghiệp.

* *

Kỷ lục về tốc độ chuyển động dưới mặt nước là bao nhiêu? Có lẽ chỉ vài người biết: nó là một bí mật quân sự. Đúng ra, câu trả lời cần chia làm 2 phần. Tốc độ lớn nhất được công bố đối với *đạn tử* ở dưới mặt nước, gần như được bao kín hoàn toàn trong một bọt khí, là 1550 m/s, nhanh hơn tốc độ âm trong nước, đạt được trên khoảng cách vài

mét trong một phòng thí nghiệm quân sự vào thập niên 1990. Hệ nhanh nhất *có động cơ* hình như là một ngư lôi, cũng chuyển động chủ yếu trong một bọt khí, đạt tới 120 m/s, nhanh hơn xe đua formula 1. Tốc độ chính xác đã đạt được thì lớn hơn và được giữ bí mật, đạt được bằng phương pháp bao vật dưới nước trong các bọt khí, được gọi là *siêu không bào*, là chủ đề nghiên cứu của các kỹ sư quân đội trên thế giới.

Cá nhanh nhất là cá cờ *Istiophorus platypterus*, có tốc độ 22 m/s, nhưng tốc độ lên tới 30 m/s còn bị hoài nghi. Dưới mặt nước, *vật nhân tạo* nhanh nhất là tàu ngầm quân sự, tốc độ được giữ bí mật, nhưng người ta tin nó vào khoảng 21 m/s. (Mọi kỹ sư hải quân trên thế giới, với ngân sách khổng lồ, cũng không thể tạo ra tàu ngầm nhanh hơn cá. Lý do phi cơ nhanh hơn chim khá hiển nhiên: phi cơ do các kỹ sư dân sự phát triển chứ không phải kỹ sư quân đội.) Tàu ngầm chạy bằng sức người có tốc độ tới 4 m/s. Ta có thể ước tính rằng nếu các nhà phát triển tàu ngầm sức người có ngân sách như kỹ sư quân đội, máy của họ có lẽ sẽ nhanh hơn tàu ngầm hạt nhân.

Không có danh sách kỷ lục bơi dưới mặt nước. Người ta đã biết việc bơi dưới mặt nước sẽ nhanh hơn bơi ếch, bơi ngửa hay bơi bướm trên mặt nước: đó là lý do việc bơi dưới mặt nước một khoảng dài bị cấm trong các cuộc thi bơi của 3 kiểu trên. Tuy vậy, người ta vẫn chưa biết kỷ lục bơi sải nhanh hơn hay chậm hơn kỷ lục của kiểu bơi này
Câu đố 596 e dưới mặt nước. Về phần bạn thì kiểu bơi nào nhanh nhất?

* *

Ta cần bao nhiêu nước để làm ẩm không khí trong phòng vào mùa đông? Ở 0°C, áp suất hơi nước là 6 mbar, ở 20°C là 23 mbar. Kết quả là việc sưởi nóng không khí trong
Câu đố 597 e mùa đông sẽ làm cho độ ẩm không khí cao nhất là 25 %. Để tăng độ ẩm lên 50 %, ta cần khoảng 1 litre nước cho 100 m^3.

* *

Sức căng bề mặt có thể gây ra nguy hiểm. Một người bước ra khỏi hồ bơi thì ướt. Người ấy mang khoảng 1/2 kg nước trên da. Ngược lại, một côn trùng ướt, như một con ruồi, mang trọng lượng gấp nhiều lần trọng lượng cơ thể. Nó không thể bay và thường bị chết. Do đó, phần lớn côn trùng cố gắng tránh xa nước – hay ít nhất, sử dụng một cái vòi dài.

* *

Tim người bơm máu với tốc độ khoảng 0.1 l/s. Một *mao quản* điển hình có đường kính của một hồng huyết cầu, khoảng 7 μm, và trong mao quản máu di chuyển với tốc độ 1/2
Câu đố 598 s mm/s. Có bao nhiêu mao quản trong người?

* *

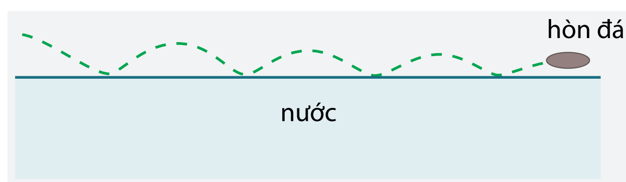
Bạn đang ở trong một con thuyền trên hồ với một hòn đá, một xô nước và một mảnh gỗ. Điều gì sẽ xảy ra cho mực nước hồ sau khi bạn ném hòn đá xuống hồ? Đổ nước xuống
Câu đố 599 s hồ? Ném mảnh gỗ xuống hồ?

* *

Câu đố 600 s Một tàu thuỷ ra khỏi con sông đi vào biển. Điều gì sẽ xảy ra?

* *

Đặt một bong bóng cao su trên đầu một cái chai, lọt vào trong chai. Bạn có thể thổi bong



HÌNH 264 Kỷ lục ném thia lia của bạn là bao nhiêu?

Câu đố 601 e bóng bên trong chai này phồng lên đến mức nào?

* *

Đặt một quả bóng cao su chứa helium trong xe. Bạn tăng tốc và lái vào đường vòng. Bóng sẽ chuyển động theo hướng nào? Câu đố 602 s

* *

Đặt một trái banh bằng giấy nhỏ vào cổ của một chai nằm ngang và cố gắng thổi nó vào trong chai. Banh giấy sẽ bay *về phía* bạn. Tại sao? Câu đố 603 e

* *

Người ta có thể thổi một quả trứng từ một chén đựng trứng sang chén thứ 2 phía sau nó. Bạn có thể thực hiện được thủ thuật này hay không? Câu đố 604 e

* *

Vào thế kỷ 17, các kỹ sư máy bơm nước đối diện với một thách thức. Để bơm nước từ hầm mỏ lên mặt đất, không có máy bơm nào vượt qua hiệu độ cao 10 m. Đối với độ cao gấp đôi con số đó, người ta luôn luôn cần đến 2 máy bơm ghép nối tiếp, qua trung gian một bể chứa. Tại sao? Như vậy cây làm cách nào để đưa nước lên độ cao lớn hơn? Câu đố 605 s

* *

Khi hydrogen và oxygen kết hợp với nhau để tạo thành nước, lượng hydrogen bằng đúng 2 lần lượng oxygen, nếu không còn khí sau phản ứng. Thí nghiệm này đã khẳng định sự hiện hữu của nguyên tử như thế nào? Câu đố 606 s

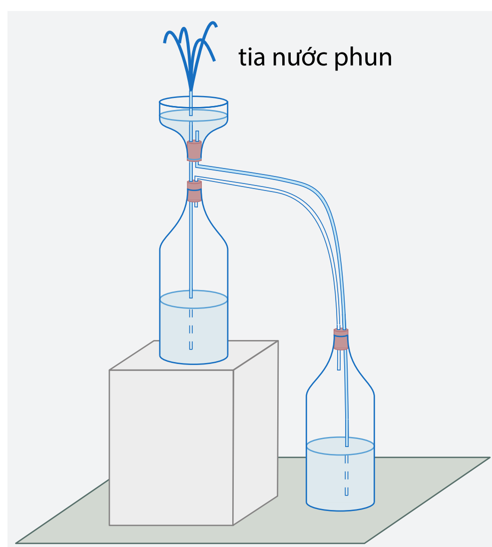
* *

Câu đố 607 s Kẹo chocolate chứa rượu đã được chế tạo bằng cách nào? Nên chú ý là rượu không được tiêm vào sau vì sẽ không có cách để giữ cho kẹo được kín.

* *

Một viên đá có thể nhảy lên bao nhiêu lần khi ta ném nó trên mặt nước? Kỷ lục thế giới hiện nay, năm 2002 là: 40 lần. Xem 279 Một số thông tin về kỷ lục thế giới trước đó, đạt được vào năm 1992: một viên đá phẳng, hình tam giác, cỡ lòng bàn tay đã được ném đi với tốc độ 12 m/s (có người nói là 20 m/s) và tốc độ quay khoảng 14 vòng/s trên một con sông, vượt qua quãng đường 100 m với 38 lần bật lên. (Chuỗi các cú nhảy đã được ghi lại bằng một máy ghi hình từ một cây cầu.)

Điều kiện cần để tăng số lần nhảy là gì? Bạn có thể chế tạo một cái máy ném tốt hơn bạn không? Câu đố 608 r



HÌNH 265 Vòi phun Heron đang hoạt động.

* *

Câu đố 609 s Thành phần có nhiều trong không khí là nitrogen (khoảng 78 %). Thành phần đứng thứ nhì là oxygen (khoảng 21 %). Thành phần thứ 3 là chất gì?

* *

Câu đố 610 s Hệ thống thông thường nào có áp suất nhỏ hơn áp suất khí quyển và thường làm chết người nếu áp suất được tăng lên bằng áp suất không khí bình thường?

* *

Câu đố 611 s Nước có thể chảy ngược: vòi phun Heron chứng tỏ điều này một cách rõ ràng nhất. Heron of Alexandria (*c.* 10 tới *c.* 70) đã mô tả nó cách nay 2000 năm; ta có thể dễ dàng chế tạo nó ngay tại nhà bằng cách sử dụng một số chai và ống nhựa nhỏ. Nó hoạt động như thế nào? Cách khởi động nó?

* *

Câu đố 612 s Một đèn tròn được đặt dưới mặt nước trong một hình trụ thép chắc chắn có đường kính 16 cm. Một xe Fiat Cinquecento nguyên bản (500 kg) được đặt trên một piston đè trên mặt nước. Bóng đèn có chịu được không?

* *

Câu đố 613 s Khí có mật độ lớn nhất là khí gì? Hơi có mật độ lớn nhất?

* *

Mỗi năm, the Institute of Maritime Systems của Đại học Rostock đều tổ chức một cuộc thi. Bài thi là chế tạo một chiếc thuyền giấy có tải trọng cao nhất. Thuyền này nặng tối đa là 10 g và thoả mãn vài điều kiện phụ; tải trọng được đo bằng cách đổ các viên chì nhỏ vào thuyền cho tới lúc nó chìm. Kỷ lục năm 2008 là 5.1 kg. Bạn có thể làm được như





HÌNH 266 Hai hệ thống đo tốc độ gió: hệ sodar và hệ lidar (© AQSystems, Leosphere).

Câu đố 614 e vậy không? (Để có thêm thông tin hãy xem website www.paperboat.de.)

* *

Câu đố 615 s Có thể sử dụng gió để di chuyển ngược gió hay không?

* *

Đo tốc độ gió là một công việc quan trọng. Có 2 phương pháp đo tốc độ gió ở độ cao khoảng 100 m trên mặt đất: *sodar*, tức là phát hiện và định vị bằng âm và *lidar*, tức là phát hiện và định vị bằng ánh sáng. Hai loại dụng cụ được trình bày trong Hình 266. Sodar cũng hoạt động khi không khí trong sạch, trong khi lidar cần thêm aerosol.

* *

Sau đây là một phiên bản mới của một câu hỏi cũ – đầu tiên do vật lý gia Daniel Colladon (b. 1802 Geneva, d. 1893 Geneva) đặt ra. Một con thuyền khối lượng *m* ở trên sông được

nhiều con ngựa kéo đi dọc theo bờ sông bằng các sợi dây thừng. Nếu sông là helium siêu lưu, tức là không có ma sát giữa thuyền và sông, năng lượng cần thiết để kéo con tàu ngược dòng đến độ cao h là bao nhiêu?

Câu đố 616 s

* *

Có một truyền thuyết hiện đại đã bịa ra rằng ở đáy các thác nước lớn không có đủ không khí để thở. Tại sao điều này sai?

Câu đố 617 e

* *

Vật lý gia, nhà phát minh Thuỵ Sĩ Auguste Piccard (b. 1884 Basel, d. 1962 Lausanne) là một nhà thám hiểm nổi tiếng. Ông đã thám hiểm Bình lưu quyển: ông đã đến độ cao kỷ lục 16 km bằng *khinh khí cầu*, khí cầu hydrogen. Bên trong cabin kín treo dưới khí cầu, ông ở trong áp suất không khí bình thường. Tuy vậy, ông cần đưa nhiều sợi dây cột vào khí cầu vào trong cabin để có thể điều khiển khí cầu bằng cách kéo thả các dây này. Làm cách nào ông có thể đưa dây vào trong cabin mà không để không khí thoát ra ngoài?

Câu đố 618 s

* *

Một người rơi trong không khí với tốc độ giới hạn khoảng 50 m/s (tốc độ chính xác phụ thuộc vào trang phục). Thời gian để rơi từ phi cơ ở độ cao 3000 m xuống độ cao 200 m là bao nhiêu?

Câu đố 619 e

* *

Để có khái niệm về độ lớn của số Avogadro và số Loschmidt, có 2 câu hỏi được đặt ra. Một, trung bình có bao nhiêu phân tử hay nguyên tử mà bạn hít vào trong mỗi lần thở đã được Caesar thở ra trước kia? Hai, trung bình có bao nhiêu nguyên tử mà bạn đã ăn mỗi ngày là của chúa Jesus? Mặc dù Trái đất rất lớn, ta vẫn có thể tìm được đáp số.

Câu đố 620 s

* *

Một vài giọt trà thường chảy bên dưới vòi ấm (hoặc rơi trên bàn). Hiện tượng này đã được mô phỏng bằng cách sử dụng các siêu máy tính mô phỏng chuyển động của lưu chất, do Kistler và Scriven, thực hiện bằng cách áp dụng các phương trình Navier–Stokes. Tuy vậy các ấm trà vẫn nhỏ giọt.

Xem 280

* *

Các bong bóng xà bông khổng lồ tốt nhất có thể được tạo ra bằng cách pha trộn 1.5 l nước, 200 ml syrô bắp và 450 ml nước rửa chén. Sau khi trộn thì để yên trong 4 giờ. Bạn có thể tạo ra các bong bóng lớn nhất bằng cách nhúng một vòng dây kim loại đường kính lên tới 100 mm vào hỗn hợp này. Nhưng tại sao bong bóng lại vỡ tan?

Câu đố 621 s

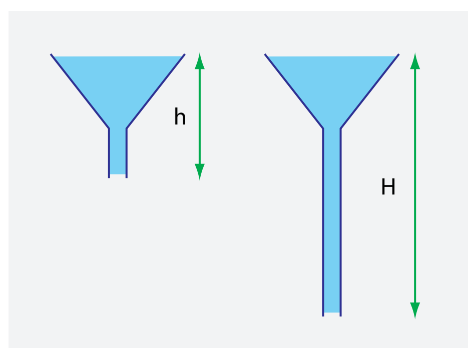
* *

Một giọt nước rơi vào một cái chảo có dầu khá nóng sẽ bốc hơi ngay. Tuy vậy, nếu dầu thật nóng, tức là trên 210°C, giọt nước sẽ nhảy múa trên mặt dầu trong thời gian khá lâu. Các đầu bếp kiểm tra nhiệt độ dầu bằng cách này. Tại sao hiện tượng được gọi là *hiệu ứng Leidenfrost* này xảy ra? Hiệu ứng này được đặt tên theo nhà thần học và y sĩ Johann Gottlob Leidenfrost (b. 1715 Rosperwenda, d. 1794 Duisburg). Để thưởng thức các màn trình diễn hữu ích và đầy ấn tượng của hiệu ứng Leidenfrost, bạn hãy xem

Câu đố 622 s



HÌNH 267 Một giọt nước trên chảo: một thí dụ về hiệu ứng Leidenfrost (© Kenji Lopez-Alt).



HÌNH 268 Phễu nào chảy hết chất lỏng nhanh hơn?

các video tại trang www.thisiscolossal.com/2014/03/water-maze/. Video này cũng cho ta thấy các giọt nước leo dốc và chạy xuyên qua các mê lộ.

Hiệu ứng Leidenfrost cũng cho phép ta nhúng tay trần vào trong chì lỏng hay nitrogen lỏng, giữ nitrogen lỏng trong miệng, kiểm tra sắt dập có nóng hay không hay đi trên than Xem 281 hồng – nếu ta tuân theo các quy tắc an toàn như Jearl Walker đã giải thích. (*Đừng có thử tự làm*! Có thể gặp trục trặc đấy.) Điều kiện quan trọng là tay, miệng hay chân phải ướt. Walker đã mất 2 cái răng trong một lần biểu diễn và bị phỏng chân trong một lần đi trên than khi điều kiện này không thoả mãn. Bạn có thể xem một số video của hiệu ứng đối với bàn tay nhúng trong nitrogen lỏng trên trang www.popsci.com/diy/article/2010-08/cool-hand-theo và ngón tay trong chì lỏng trên trang www.popsci.com/science/article/2012-02/our-columnist-tests-his-trust-science-dipping-his-finger-molten-lead.

* *

Câu đố 623 s Tại sao các phân tử không khí không rơi xuống đáy bình chứa và ở lại đó?

* *

Câu đố 624 s Phễu nào trong Hình 268 chảy hết nước nhanh hơn? Hãy áp dụng sự bảo toàn năng
Xem 282 lượng cho chuyển động của chất lỏng (phương trình Bernoulli) để tìm ra câu trả lời.

* *

Như ta đã biết, dòng chảy nhanh sẽ tạo ra một sự sụt áp. Làm cách nào cá có thể ngăn
Câu đố 625 s được mắt của chúng bật ra khi chúng bơi nhanh?

* *

Lý do trái banh golf được làm cho rỗ mặt cũng giống như banh tennis có lông và da của cá mập, cá heo không nhẵn: độ nhám sẽ làm cho sức cản của dòng giảm đi vì nhiều xoáy
Câu đố 626 ny nước nhỏ tạo ra ít ma sát hơn một xoáy nước lớn. Tại sao?

* *

Độ cao kỷ lục mà một máy bay trực thăng đạt được là 12 442 m trên mực nước biển, mặc dù cũng có người cho rằng kỷ lục là 12 954 m. (Độ cao đầu tiên đạt được vào năm 1972, độ cao thứ 2 vào năm 2002, cả hai kỷ kục đều do người và phi cơ Pháp thực hiện.) Như vậy tại sao người ta vẫn còn tiếp tục sử dụng chân để leo lên đỉnh Sagarmatha, núi cao
Câu đố 627 s nhất thế giới?

* *

Một sợi chỉ được thắt gút lỏng lẻo đặt trên mặt một chén đầy nước. Đổ một ít nước rửa chén vào trong vùng do sợi chỉ bao quanh sẽ lập tức làm cho sợi chỉ trở thành hình tròn.
Câu đố 628 e Tại sao?

* *

Làm cách nào để đặt một khăn tay dưới mặt nước bằng một cái ly, trong khi vẫn giữ cho
Câu đố 629 s nó khô không?

* *

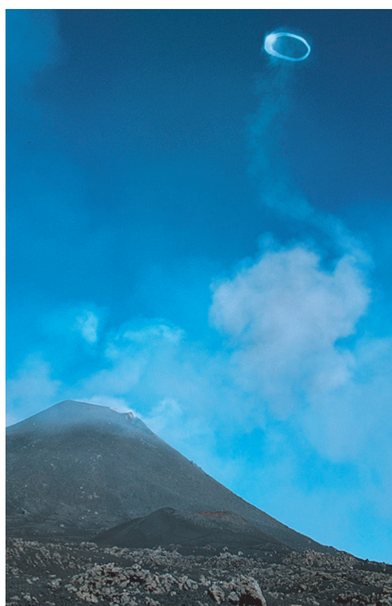
Bạn có thể thổi một quả banh bàn ra khỏi một cái phễu không? Điều gì sẽ xảy ra khi bạn thổi xuyên qua cái phễu hướng về phía một ngọn nến đang cháy?

* *

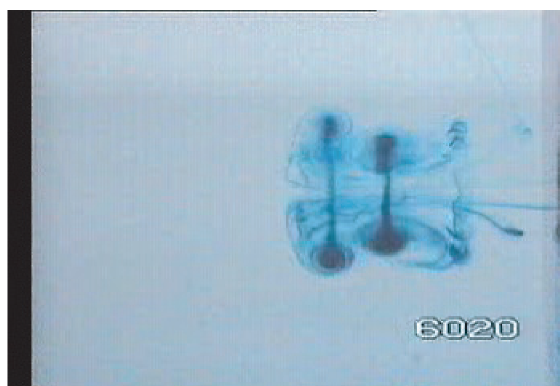
Sự rơi của một chiếc lá, với đường đi phức tạp của nó, vẫn còn là chủ đề nghiên cứu. Ta vẫn chưa thể tiên đoán thời gian cần thiết để lá rơi đến mặt đất; việc mô tả chuyển động của không khí quanh chiếc lá là điều khó khăn. Một trong những hiện tượng đơn giản nhất của Thuỷ động lực học vẫn còn là một trong những bài toán khó nhất.

* *

Lưu chất thể hiện nhiều hiệu ứng thú vị. Bong bóng xà bông trong không khí được làm bằng một lớp chất lỏng mỏng hình cầu với không khí ở cả 2 bên. Vào năm 1932, người ta quan sát được các phản-bong bóng, những lớp không khí mỏng hình cầu có chất lỏng ở
Xem 283 2 bên. Vào năm 2004, Vật lý gia Bỉ Stéphane Dorbolo và cộng sự đã chứng tỏ rằng người ta có thể tạo ra chúng trong những thí nghiệm đơn giản và đặc biệt, trong bia của Bỉ.



HÌNH 269 Một vòng khói, kích thước khoảng 100 m, bắn ra từ miệng Bocca Nova của núi lửa Etna năm 2000 (© Daniela Szczepanski at www.vulkanarchiv.de and www.vulkane.net).



HÌNH 270 Hai vòng xoáy nhảy cừu. (QuickTime film © Lim Tee Tai)

* *

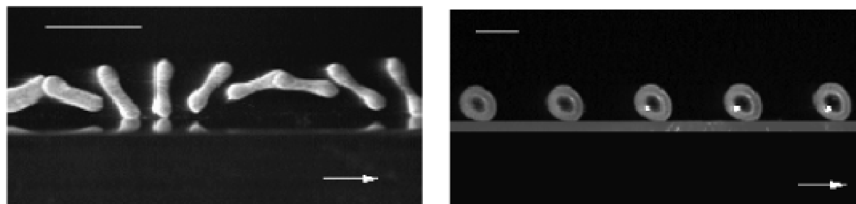
Có bao giờ bạn thả một viên kẹo Mentos vào trong một chai Coca Cola ăn kiêng chưa? Bạn sẽ có một hiệu ứng thú vị. (Bạn hãy thử làm và tự chịu sự rủi ro...) Có thể chế tạo một hoả tiễn bằng cách này không? Câu đố 630 e

* *

Một cây kim có thể bơi trên mặt nước, nếu bạn đặt nó một cách thận trọng. Chỉ cần thử bằng cách dùng một cái nĩa. Tại sao nó lại nổi? Câu đố 631 e

* *

Sông Rhine đổ khoảng 2 300 m^3/s nước vào Bắc Hải, sông Amazon đổ khoảng 120 000 m^3/s vào Đại Tây Dương. Số lượng này ít hơn $c^3/4G$ bao nhiêu? Câu đố 632 e



HÌNH 271 Những giọt nước phủ phấn hoa lăn trên mặt phẳng nghiêng 35 độ (độ nghiêng không được thể hiện) có hình dạng khác thường. Các vạch xám có chiều dài 1 cm; những giọt nước hình cầu có bán kính ban đầu tương ứng là 1.3 mm và 2.5 mm. Ảnh được chụp cách khoảng 9 ms và 23 ms (© David Quéré).

* *

Lưu chất thường phô bày nhiều chuyển động phức tạp. Để có một tổng quan, bạn hãy ngắm bộ sưu tập tuyệt đẹp trên website serve.me.nus.edu.sg/limtt. Trong chuyển động của lưu chất, các vòng xoáy, được những người hút thuốc hay núi lửa phun ra, thường kích thích trí tưởng tượng của ta. (Hãy xem Hình 269.) Một trong những thí dụ nổi tiếng nhất của chuyển động lưu chất là sự nhảy cừu của các vòng xoáy, được trình bày trong Hình 270. Lim Tee Tai giải thích rằng cực kỳ khó để có hơn 2 cú nhảy vì một sự lệch nhỏ ra khỏi hàng của các vòng xoáy có thể làm cho hệ thống sụp đổ.

Câu đố 633 e

Xem 284

* *

Ta có thể thấy một hiệu ứng đáng ngạc nhiên nữa khi đổ *shampoo* lên một cái đĩa: đôi khi có một tia chất lỏng nhỏ bắn ra tại nơi mà shampoo chạm vào đĩa. Đây là *hiệu ứng Kaye* mà ta có thể thưởng ngoạn trong đoạn phim đẹp mắt do Đại học Twente sản xuất, trên trang web youtube.com/watch?v=GX4_3cV_3Mw.

* *

Phần lớn động vật hữu nhũ cần khoảng 30 s để đi giải. Bạn có thể giải thích điều này không?

Câu đố 634 e

* *

Toilet trên phi cơ là những nơi nguy hiểm. Trong thập niên 1990, một người mập ngồi ấn nút 'xả'. (Đừng bao giờ thử điều này.) Áp suất thấp trong bồn đã đưa ruột ra bên ngoài và người đó được mang đến bệnh viện. (Sau đó mọi việc kết thúc êm đẹp.)

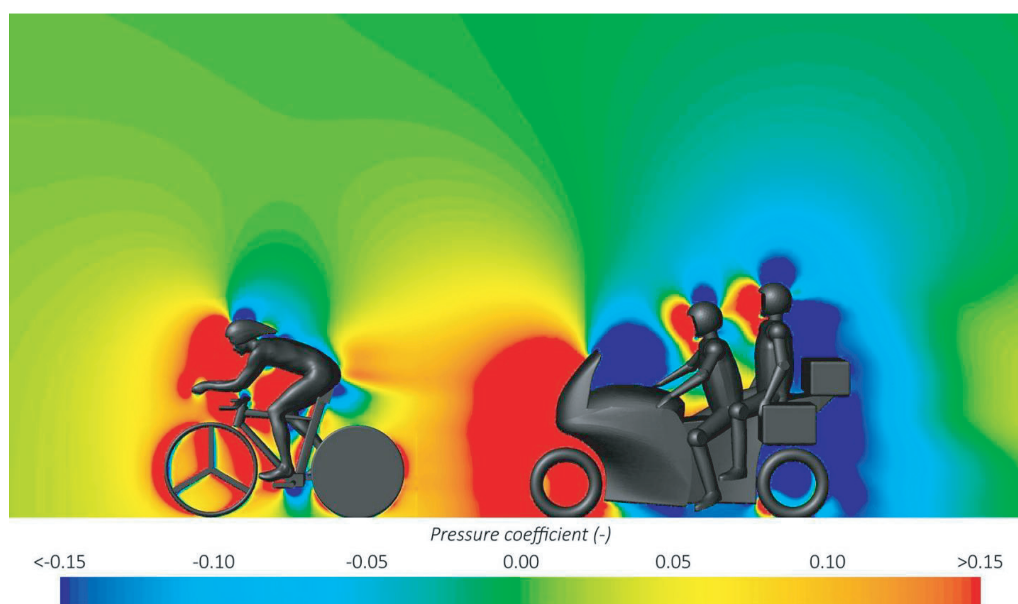
* *

Nếu ta bao các giọt nước với một loại bụi thích hợp, chúng có thể lăn trên các mặt phẳng nghiêng. Tốc độ có thể lên tới 1 m/s, trong khi cũng trên mặt đó, nước sẽ chảy chậm hơn hàng trăm lần. Khi các giọt nước chuyển động quá nhanh chúng sẽ trở thành các đĩa phẳng; ở tốc độ cao hơn chúng có hình bánh doughnut. Thậm chí chúng có thể nhảy và bơi.

Xem 285

* *

Ai cũng biết rằng đi xe đạp phía sau một xe vận tải, xe hơi hay xe mô tô thì dễ dàng hơn



HÌNH 272 Sự hiển thị bằng máy tính của các vùng áp suất bao quanh một xe đạp đua và một xe mô tô đi theo nó (© Technical University Eindhoven).

vì sức cản của gió sẽ nhỏ hơn. Thật vậy, kỷ lục tốc độ của xe đạp do Fred Rompelberg Xem 297 lập được năm 1990 là 74.7 m/s, hay 268.8 km/h với một xe hơi chạy phía trước. Điều kỳ lạ nữa là một chiếc mô tô chạy *phía sau* xe đạp cũng làm giảm lực cản lên tới 9%. Năm 2016, Bert Blocken và cộng sự đã khẳng định hiệu ứng này trong đường hầm tạo gió với các mô phỏng bằng số. Như vậy hiệu ứng này đủ để xác định người thắng cuộc của vòng khởi động hay vòng đua tính giờ. Đúng ra 3 chiếc mô tô chạy thành một hàng phía sau cũng làm giảm lực cản xe đạp chạy phía trước lên tới 14%. Tác dụng này xảy ra vì các xe mô tô chạy theo làm giảm vùng áp suất thấp – được hiển thị bằng màu đỏ Hình 272 – phía sau xe đạp; điều này làm giảm lực cản khí động lực đối với người đi xe đạp.

* *

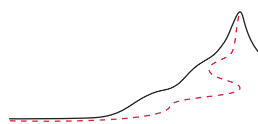
Mọi lưu chất đều có thể duy trì các cuộn xoáy. Thí dụ như trong không khí có các lốc xoáy hay vòi rồng. Nhưng các cuộn xoáy cũng có ở biển. Chúng có kích thước từ 100 m tới 10 km; đời sống ngắn ngủi của chúng kéo dài từ vài giờ tới một ngày. Xoáy biển trộn các lớp nước biển với nhau và vận chuyển nhiệt, chất dinh dưỡng và rong biển. Các nghiên cứu về tính chất và tác dụng của chúng chỉ ở giai đoạn bắt đầu.

Tóm tắt về lưu chất

Chuyển động của lưu chất là chuyển động của các hợp tử của nó. Chuyển động của lưu chất tạo ra các chuyển động bơi, bay, hô hấp, tuần hoàn máu, các cuộn xoáy và các dòng chảy cuộn xoáy. Chuyển động của lưu chất có thể là chảy *thành lớp* hay chảy *rối*. Dòng

chảy thành lớp không có nội ma sát được mô tả bằng phương trình Bernoulli tức là bằng sự bảo toàn năng lượng. Dòng chảy thành lớp có nội ma sát nằm ngoài phạm vi quyển sách này; dòng chảy cuộn xoáy cũng tương tự. Sự mô tả chính xác chuyển động cuộn xoáy của lưu chất là bài toán phức tạp nhất của Vật lý và chưa giải được hoàn toàn.





Chương 13

Về nhiệt và bất biến đảo chiều chuyển động

Sữa bị đổ không bao giờ tự trở lại bình chứa. Một vật nóng bất kỳ, để một mình sẽ bắt đầu lạnh đi theo thời gian; nó không bao giờ nóng lên. Hiện tượng này và nhiều hiện tượng khác chứng tỏ rằng nhiều quá trình trong thiên nhiên *không thể đảo ngược được*. Mặt khác, vì hòn đá bay theo một quỹ đạo nên ta có thể ném nó ngược lại theo con đường đó. Chuyển động của hòn đá *có thể đảo ngược*. Nhiều thí nghiệm khác chứng tỏ rằng tính bất thuận nghịch chỉ có thể được tìm thấy trong các hệ được tạo thành từ *nhiều* hạt và mọi hệ không thuận nghịch đều liên quan tới *nhiệt*.

Kinh nghiệm hằng ngày của chúng ta, bao gồm hơi ấm của con người, lò nướng, chứng tỏ rằng nhiệt chảy. *Nhiệt chuyển động*. Nhưng việc không có tính thuận nghịch cũng chứng tỏ rằng nhiệt chuyển động theo một phương thức đặc biệt. Vì nhiệt xuất hiện trong các hệ nhiều hạt, ta phải chuyển sang tìm hiểu hướng tiếp cận tổng quát kế tiếp của sự mô tả chuyển động: *Vật lý thống kê*. Vật lý thống kê, bao gồm *Nhiệt động lực học*, nghiên cứu nhiệt và nhiệt độ, giải thích nguồn gốc của nhiều tính chất của vật liệu và cũng nghiên cứu tính bất thuận nghịch của dòng nhiệt.

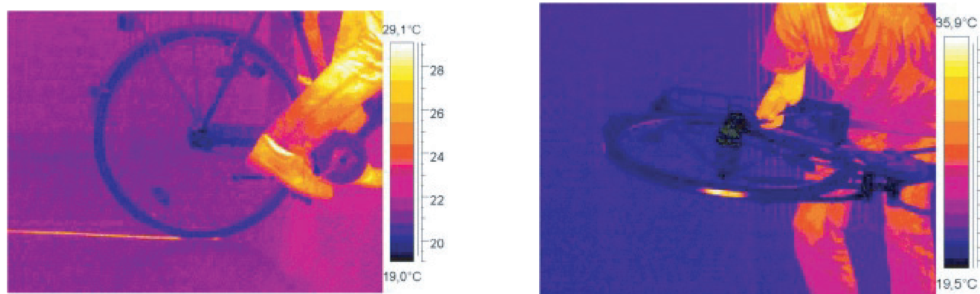
Tính bất thuận nghịch có đồng nghĩa với chuyển động, ở mức độ cơ bản, thì không bất biến dưới sự đảo chiều chuyển động, như người đoạt giải Nobel Ilya Prigogine, một trong những người khai sinh khái niệm Tự tổ chức, đã nghĩ hay không? Trong chương này chúng ta sẽ chứng tỏ rằng, mặc dù ông đạt được nhiều thành tựu khác, ông đã sai.** Để suy ra kết luận này, trước tiên ta cần biết những điều cơ bản về nhiệt độ và nhiệt; sau
Xem 286 đó ta sẽ bàn tới tính bất thuận nghịch và sự đảo chiều chuyển động.

Nhiệt độ

Các vật vĩ mô, tức là các vật có cấu tạo nguyên tử, có *nhiệt độ*. Chỉ có các vật được tạo thành từ vài nguyên tử mới không có nhiệt độ. Lò nướng có nhiệt độ cao, tủ lạnh có nhiệt độ thấp. Sự thay đổi nhiệt độ có nhiều tác dụng quan trọng: vật chất đổi từ trạng thái rắn, sang trạng thái lỏng, hơi, plasma. Khi nhiệt độ thay đổi, vật chất cũng thay đổi kích thước, màu sắc, từ tính, độ cứng và nhiều tính chất khác.

Nhiệt độ là một tính chất của *trạng thái* của một vật. Nói cách khác, hai vật khác nhau có thể được đặc trưng và phân biệt bằng nhiệt độ của chúng. Điều này đã được các tổ chức tội phạm trên thế giới chuyên tổ chức các cuộc xổ số gian lận biết rõ. Khi một đứa

** Nhiều tư tưởng gia ít nghiêm túc hơn thường hỏi những câu với lời lẽ như sau: chuyển động có *bất biến đối với thời gian* không? Báo chí rẻ tiền còn đi xa hơn, hỏi là chuyển động có một 'mũi tên' hay không, hay
Trang 49 thời gian có một 'hướng trôi' ưu tiên hay không. Ta đã chứng minh ở trên rằng đây là một điều vô nghĩa. Chúng ta sẽ tránh xa những câu chữ như vậy trong phần sau đây.



HÌNH 273 Thắng xe sinh ra nhiệt trên sàn và trong lốp xe (© Klaus-Peter Möllmann and Michael Vollmer).



HÌNH 274 Một cuộc xổ số gian lận chứng tỏ rằng nhiệt độ là một tính chất của trạng thái của một vật (© ISTA).

trẻ bịt mắt được yêu cầu rút một quả banh số từ nhiều trái banh, như trong Hình 274, nó thường được dặn trước là chỉ rút các quả banh *nóng* hay *lạnh*. Khăn bịt mắt cũng che giấu các giọt nước mắt do đau đớn. Xem 288

Nhiệt độ của một vật vĩ mô là một tính chất của trạng thái của nó. Đặc biệt, nhiệt độ là một đại lượng hay biến *cường tính*. Tóm lại, nhiệt độ mô tả cường độ của dòng nhiệt. Một tổng quan về các giá trị nhiệt độ đo được có trong Bảng 46.

Ta thấy rằng hai vật bất kỳ khi tiếp xúc có khuynh hướng đi tới *cùng* một nhiệt độ: nhiệt độ có tính *lan truyền*. Nói cách khác, nhiệt độ mô tả tình trạng *cân bằng*. Như vậy nhiệt độ hành xử giống như áp suất và các biến cường tính khác: nó giống nhau đối với tất cả các phần của hệ. Ta gọi *nung nóng* là làm tăng nhiệt độ và *làm nguội* là làm giảm nhiệt độ.

Nhiệt độ được đo như thế nào? Thế kỷ 18 đã cho câu trả lời rõ ràng nhất: nhiệt độ được định nghĩa và đo tốt nhất bằng *sự giãn nở của chất khí*. Đối với khí đơn giản nhất,

còn gọi là *khí lý tưởng*, tích áp suất p và thể tích V tỷ lệ với nhiệt độ:

$$pV \sim T\ . \tag{111}$$

Hằng số tỷ lệ được ấn định bằng *lượng khí* được sử dụng. Hệ thức khí lý tưởng cho phép ta xác định nhiệt độ bằng cách đo áp suất và thể tích. Đây là phương thức mà nhiệt độ (tuyệt đối) đã được định nghĩa và đo trong khoảng một thế kỷ. Để định nghĩa *đơn vị* nhiệt độ, ta chỉ phải ấn định lượng khí được dùng. Theo thông lệ lượng khí là 1 mol; đối với oxygen đó là 32 g. Hằng số tỷ lệ trong trường hợp 1 mol, được gọi là *hằng số khí lý tưởng R*, được xác định là

Xem 287
Trang 452

$$R = 8.314\,4598(48)\ \text{J/mol/K}\ . \tag{112}$$

Giá trị này được chọn để tạo ra sự xấp xỉ tốt nhất với thang nhiệt độ Celsius được định nghĩa một cách độc lập. Ấn định hằng số khí lý tưởng theo cách này là định nghĩa 1 K, hay 1 Kelvin, là đơn vị nhiệt độ.

Nói chung, nếu ta cần xác định nhiệt độ của một vật, ta chỉ cần lấy 1 mole khí lý tưởng, cho nó tiếp xúc với vật, chờ một lúc, rồi đo áp suất và thể tích khí. Hệ thức khí lý tưởng (111) sẽ cho ta nhiệt độ của vật.

Đối với mỗi chất, có một tính chất đặc trưng cho vật liệu là điểm 3. *Điểm 3* là nhiệt độ duy nhất tại đó 3 phase rắn, lỏng, hơi cùng hiện hữu. Đối với nước, nó nằm ở 0.01°C (và áp suất riêng phần của hơi nước là 611.657 Pa). Sử dụng điểm 3 của nước, ta có thể định nghĩa Kelvin bằng ngôn ngữ đơn giản: độ tăng nhiệt độ 1 Kelvin là độ tăng nhiệt độ làm cho khí lý tưởng, được giữ cho áp suất cố định, ở điểm 3 của nước tăng thể tích với tỷ lệ là 1/273.16 hay 0.366 09 %.

Câu đố 635 e

Điều quan trọng nhất, hệ thức khí lý tưởng chứng tỏ rằng có một nhiệt độ cực tiểu trong thiên nhiên, cụ thể là nhiệt độ mà tại đó một khí lý tưởng sẽ có thể tích bằng 0. Đối với một khí lý tưởng điều này xảy ra ở $T = 0$ K. Trong thực tế, các tác dụng khác như thể tích nguyên tử, ngăn cản việc khí thực có thể tích bằng 0.

▷ Tính không thể đạt được của nhiệt độ 0 được gọi là *Nguyên lý thứ 3 của Nhiệt động lực học.*

Đúng ra giá trị nhiệt độ mà một nền văn minh đạt được có thể được sử dụng làm số đo thành tựu công nghệ của nó. Ta có thể định nghĩa *Thời kỳ đồ đồng* (1.1 kK, 3500 BCE), *Thời kỳ đồ sắt* (1.8 kK, 1000 BCE), *Thời kỳ điện* (3 kK từ *c.* 1880) và *Thời kỳ nguyên tử* (nhiều MK, từ 1944) theo cách này. Nếu tính tới cuộc chinh phục nhiệt độ thấp, ta có thể định nghĩa *Thời kỳ lượng tử* (4 K, bắt đầu từ 1908). Tất cả những tư tưởng này đều dẫn tới một câu hỏi đơn giản: *nói chính xác* thì nung nóng và làm nguội là gì? Điều gì xảy ra trong các quá trình này?

Xem 289

BẢNG 46 Một số giá trị nhiệt độ.

Trường hợp đo	Nhiệt độ
Nhiệt độ thấp nhất nhưng không đạt tới được	0 K = −273.15°C
Trong trường hợp của laser, việc nói về nhiệt độ âm trong thực tế cũng có ý nghĩa.	

BẢNG 46 (Tiếp theo) Một số giá trị nhiệt độ.

Trường hợp đo	Nhiệt độ
Nhiệt độ chân không hoàn toàn có thể có ở mặt đất	
Quyển V, Trang 146	40 zK
Hơi Sodium trong phòng thí nghiệm – hệ vật chất lạnh nhất do con người tạo ra và có lẽ là trong vũ trụ	0.45 nK
Nhiệt độ nền neutrino trong vũ trụ	*c.* 2 K
Nhiệt độ (photon) bức xạ nền vũ trụ	2.7 K
Helium lỏng	4.2 K
Điểm 3 của Oxygen	54.3584 K
Nitrogen lỏng	77 K
Thời tiết lạnh nhất đã từng đo được (Nam cực)	185 K = −88°C
Điểm đông đặc của nước ở áp suất tiêu chuẩn	273.15 K = 0.00°C
Điểm 3 của nước	273.16 K = 0.01°C
Nhiệt độ trung bình của mặt đất	287.2 K
Nhiệt độ da không thoải mái nhỏ nhất	316 K (10 K trên bình thường)
Bên trong cơ thể người	310.0 ± 0.5 K = 36.8 ± 0.5°C
Nhiệt độ của phần lớn động vật hữu nhũ trên đất liền	310 ± 3 K = 36.8 ± 2°C
Thời tiết nóng nhất đã từng đo được	343.8 K = 70.7°C
Điểm sôi của nước ở áp suất tiêu chuẩn	373.13 K hay 99.975°C
Nhiệt độ của sinh vật nóng nhất: vi khuẩn thermophile	395 K = 122°C
Đám cháy rừng lớn, đồng đỏ lỏng	*c.* 1100 K
Điểm đông đặc của vàng	1337.33 K
Sắt tinh khiết lỏng	1810 K
Ngọn lửa đèn Bunsen	lên tới 1870 K
Tim đèn tròn	2.9 kK
Điểm nóng chảy của hafnium carbide	4.16 kK
Tâm Trái đất	5(1) kK
Bề mặt Mặt trời	5.8 kK
Không khí trong tia sét	30 kK
Bề mặt ngôi sao nóng nhất (tâm của NGC 2240)	250 kK
Không gian giữa Trái đất và Mặt trăng	lên tới1 MK
Tâm sao lùn trắng	5 tới 20 MK
Tâm Mặt trời	20 MK
Tâm của đĩa bồi tụ trong sao đôi tia X	10 tới 100 MK
Bên trong tokamak dung hợp JET	100 MK
Tâm các ngôi sao nóng nhất	1 GK
Nhiệt độ cực đại của các hệ không có sinh cặp electron–positron	ca. 6 GK
Vũ trụ khi 1 s tuổi	100 GK
Nhiệt độ Hagedorn	1.9 TK
Va chạm của các ion nặng – giá trị nhân tạo lớn nhất	lên tới 3.6 TK



HÌNH 275 Nhiệt kế: nhiệt kế Galilei (hình bên trái), dãy cảm biến hồng ngoại trong hàm của một con trăn cây xanh lục bảo Corallus caninus, một nhiệt kế hồng ngoại dùng để đo thân nhiệt trong tai, nhiệt kế hàng hải sử dụng thanh lưỡng kim, nhiệt kế thuỷ ngân và một cặp nhiệt điện gắn liền với một volt kế để hiển thị số đo (© Wikimedia, Ron Marcus, Braun GmbH, Universum, Wikimedia, Thermodevices).

BẢNG 46 (Tiếp theo) Một số giá trị nhiệt độ.

Trường hợp đo	Nhiệt độ
Nhiệt độ Planck – giới hạn trên của nhiệt độ thiên nhiên	10^{32} K

Nhiệt năng

Chung quanh ta, ma sát làm các vật chuyển động chậm lại, và trong khi làm như vậy, đã nung nóng vật lên. 'Sự phát sinh' của nhiệt do ma sát có thể quan sát được trong nhiều thí nghiệm. Một thí dụ được đưa ra trong Hình 273. Những thí nghiệm như vậy chứng Xem 290

tỏ rằng nhiệt có thể sinh ra từ sự ma sát, chỉ bằng sự cọ xát liên tục, *thì không có giới hạn*. 'Sự phát sinh' nhiệt vô hạn này hàm ý rằng nhiệt không phải là lưu vật liệu hay một chất rút ra từ vật đó – trong trường hợp này được giả sử là sau một thời gian nào đó – mà là một cái gì đó khác hơn. Thật vậy, ngày nay ta đã biết rằng nhiệt, mặc dù hành xử như một lưu chất, bắt nguồn từ chuyển động hỗn loạn của các hạt. Tóm lại:

▷ Ma sát là sự biến đổi cơ năng (trật tự) thành *nhiệt năng* (mất trật tự), tức là thành chuyển động hỗn loạn của các hạt tạo thành vật chất.

Như vậy nung nóng và làm nguội là các dòng năng lượng mất trật tự. Để tăng nhiệt độ của 1 kg nước lên 1 K bằng ma sát, ta phải cung cấp 4.2 kJ cơ năng. Người đầu tiên đo chính xác đại lượng này vào năm 1842 là bác sĩ Julius Robert Mayer (b. 1814 Heilbronn, d. 1878 Heilbronn). Ông đã mô tả thí nghiệm của mình để làm bằng chứng cho sự bảo toàn năng lượng; thật vậy, ông chính là người đầu tiên phát biểu về sự bảo toàn năng lượng! Đó là một điều xấu hổ đối với Vật lý hiện đại khi người đầu tiên chứng minh sự bảo toàn năng lượng là một bác sĩ và hơn nữa, ông còn bị nhiều nhà vật lý thời đó chế giễu. Điều tệ hơn là sự bảo toàn năng lượng chỉ được các khoa học gia công nhận nhiều năm sau đó khi được hai người có uy tín công bố: Hermann von Helmholtz – ông cũng là bác sĩ chuyển thành vật lý gia – và William Thomson, người cũng đã nêu ra những điều tương tự và sau đó được James Joule chứng minh bằng thực nghiệm.* Mọi người đều thừa nhận quyền ưu tiên của Mayer. Sự tiếp thị của William Thomson dần dần khiến cho người ta đặt tên đơn vị năng lượng theo tên của Joule. Tóm lại, hai bác sĩ y khoa đã chứng minh cho mọi chuyên gia về chuyển động rằng:

▷ Trong một hệ kín, tổng cơ năng và nhiệt năng là một hằng số. Đây là *Nguyên lý thứ nhất của Nhiệt động lực học*.

Nói cách khác, ta không thể tạo ra cơ năng mà không trả cho nó một số dạng năng lượng khác. Đây là một phát biểu quan trọng vì nó có nghĩa là một ngày nào đó sự sống của loài người sẽ kết thúc. Thật vậy, chúng ta sống phần lớn nhờ năng lượng của Mặt trời; vì Mặt trời có kích thước hữu hạn, năng lượng của nó dần dần sẽ cạn. Bạn có thể ước tính khi nào thì điều này xảy ra không?

Câu đố 636 s
Trang 112

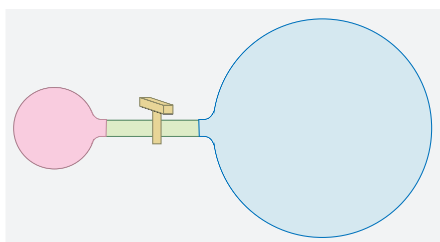
Nguyên lý thứ nhất của Nhiệt động lực học, sự bảo toàn năng lượng, hàm ý:

▷ *Không có* động cơ vĩnh cửu 'loại 1'.

Đặc biệt, không có máy nào có thể chạy mà không cần năng lượng. Chính vì lý do này, ta cần thực phẩm để ăn: năng lượng trong thực phẩm giúp cho ta sống. Nếu ngừng ăn ta sẽ chết. Sự bảo toàn năng lượng khiến cho 'những điều kỳ diệu' không thể xảy ra: trong thiên nhiên, năng lượng không được sinh ra mà được bảo toàn.

Nhiệt năng là một dạng năng lượng. Nhiệt năng có thể được lưu trữ, tích luỹ, truyền

* Hermann von Helmholtz (b. 1821 Potsdam, d. 1894 Berlin), khoa học gia nổi tiếng. William Thomson-Kelvin (b. 1824 Belfast, d. 1907 Netherhall), vật lý gia nổi tiếng, James Prescott Joule (b. 1818 Salford, d. 1889 Sale), vật lý gia. Joule được phát âm có cùng vần với 'cool', vì con cháu của ông thích nhấn mạnh. (Cách phát âm của 'Joule' thay đổi theo dòng họ.)



HÌNH 276 Quả bóng nào sẽ thắng khi van được mở ra? Ghi chú: đây cũng là cách mà chứng phình động mạch phát triển.

đi, biến đổi thành cơ năng, điện năng hay ánh sáng. Tóm lại, nhiệt năng có thể biến đổi thành chuyển động, công và tiền bạc.

Nguyên lý thứ nhất của Nhiệt động lực học cũng cho chúng ta tính toán những gì mà động cơ xe hơi tạo ra. Động cơ xe hơi là các dụng cụ biến đổi vật chất nóng – nhiên liệu cháy nổ trong xy lanh – thành chuyển động của bánh xe. Máy xe hơi, như động cơ hơi nước, là thí dụ của *động cơ nhiệt*.

Sự nghiên cứu về nhiệt và nhiệt độ được gọi là *Tĩnh nhiệt học* nếu hệ thống liên quan ở trạng thái cân bằng và *Nhiệt động lực học* nếu không cân bằng. Trong trường hợp sau, ta phân biệt các trường hợp *gần* cân bằng, khi các khái niệm cân bằng như nhiệt độ còn sử dụng được, với trường hợp *không* cân bằng, khi các khái niệm như vậy thường không áp dụng được.

Trang 414

Việc phân biệt giữa nhiệt năng và nhiệt như vậy có ý nghĩa gì không? Có. Nhiều sách cũ sử dụng thuật ngữ 'nhiệt' *đồng nghĩa với* nhiệt năng. Tuy vậy, điều này gây bối rối cho học sinh và các chuyên gia:

▷ Trong sách này, 'nhiệt' được sử dụng, tương ứng với cách tiếp cận hiện đại, như thuật ngữ thông thường *entropy*.

Cả nhiệt năng và nhiệt đều chảy từ vật này sang vật khác và cả hai đều có thể tích luỹ được. Cả 2 đều không có khối lượng có thể đo được.* Cả nhiệt năng và nhiệt lượng trong một vật đều gia tăng theo nhiệt độ. Hệ thức chính xác sẽ được cho sau đây. Nhưng nhiệt có những tính chất và những câu chuyện thú vị để kể lại. Trong số này có 2 tính chất đặc biệt quan trọng: một, nhiệt bắt nguồn từ các hạt; và hai, nhiệt là sự khác nhau chính giữa quá khứ và tương lai. Đây là 2 câu chuyện đan xen với nhau.

Tại sao khí cầu lại chiếm lĩnh không gian? – Đoạn kết của sự liên tục

Các tính chất nhiệt phụ thuộc vào vật liệu. Do đó nghiên cứu tính chất nhiệt sẽ giúp ta hiểu được đôi điều về các thành phần của vật chất. Vật liệu đơn giản nhất là chất khí.**

Quyển II, trang 74

* Điều này có thể thay đổi trong tương lai, khi phép đo khối lượng cải thiện độ chính xác, cho phép ta phát hiện các hiệu ứng tương đối tính. Trong trường hợp này, sự gia tăng nhiệt độ có thể được phát hiện nhờ sự gia tăng khối lượng tương ứng. Tuy vậy, những thay đổi như vậy chỉ có thể nhận biết với các phép đo khối lượng có độ chính xác tới 12 số thập phân hay nhiều hơn.

** Cũng cần nói thêm, từ *khí* là một từ hiện đại. Nó được nhà giả kim thuật và y sĩ Johan Baptista van Helmont (b. 1579 Brussels, d. 1644 Vilvoorde) chế ra, nghe giống như 'chaos' (sự hỗn độn). Nó là một trong vài từ được một người phát minh rồi được dùng trên khắp thế giới.

Chất khí cần không gian: một lượng khí bất kỳ đều có áp suất và thể tích. Người ta đã mau chóng biết rằng khí *không thể* liên tục. Một trong những khoa học gia đầu tiên nghĩ rằng chất khí được tạo thành từ các nguyên tử hay phân tử là Daniel Bernoulli. Bernoulli lý luận rằng nếu chất khí được tạo thành từ các hạt nhỏ, có khối lượng và động lượng, ông sẽ có thể tiên đoán một cách định lượng về hành trạng của nó và kiểm tra các điều này bằng thí nghiệm. Nếu các hạt bay lòng vòng trong chất khí thì *áp suất* của chất khí trong bình chứa được sinh ra do các dòng hạt đập liên tục vào thành bình. Bernoulli hiểu rằng nếu ông giảm thể tích đi phân nửa, các hạt này chỉ cần du hành phân nửa chiều dài đoạn đường để chạm vào thành bình: như vậy áp suất sẽ tăng lên gấp đôi. Ông cũng hiểu rằng nếu nhiệt độ chất khí tăng lên trong khi thể tích không đổi, tốc độ các hạt sẽ tăng lên. Kết hợp các kết quả này, Bernoulli kết luận rằng nếu ta giả sử các hạt hành xử như các trái banh nhỏ, cứng và hoàn toàn đàn hồi thì áp suất p, thể tích V và nhiệt độ T
Câu đố 637 s
phải liên hệ với nhau theo phương trình

$$pV = nRT = kNT \, . \qquad (113)$$

Trong *hệ thức khí lý tưởng này*, R là *hằng số khí lý tưởng*; nó có giá trị $R = 8.314\,4598(48)\,\mathrm{J/(mol\,K)}$ và n là số mole. Trong một cách viết khác của hệ thức này, N là số hạt chứa trong chất khí và k là hằng số Boltzmann, một hằng số cơ bản của thiên nhiên, có giá trị $k = 1.380\,648\,52(79) \cdot 10^{-23}\,\mathrm{J/K}$. (Dưới đây ta sẽ kể thêm về hằng
Trang 392
số này.) Một chất khí được tạo thành từ các hạt như vậy được gọi là *khí lý tưởng*. Hệ thức (113), thường được gọi là *'định luật' khí lý tưởng*, đã được người ta biết đến trước Bernoulli; hệ thức này đã được khẳng định bằng các thí nghiệm ở nhiệt độ phòng và cao hơn, đối với mọi chất khí đã biết.

Bernoulli đã suy ra hệ thức khí lý tưởng, cùng với tiên đoán đặc biệt về hằng số tỷ lệ R, từ một giả thuyết đơn giản là khí được tạo thành từ các hạt nhỏ có khối lượng. Việc chứng minh này cung cấp một luận chứng rõ ràng cho sự hiện hữu của nguyên tử và hành trạng của chúng như các vật thông thường mặc dù nhỏ bé. Và chúng ta đã thấy ở
Trang 340
trên cách xác định N bằng thực nghiệm.

Mô hình khí lý tưởng giúp ta trả lời các câu hỏi như câu hỏi được minh hoạ trong Hình 276. Hai quả bóng cao su *giống nhau*, một được bơm đầy khí to hơn quả bóng kia,
Câu đố 638 s
được nối với nhau bằng một ống có một cái van. Van được mở ra. Quả nào xẹp đi?

Hệ thức khí lý tưởng phát biểu rằng khí nóng hơn, ở áp suất đã cho, cần nhiều thể
Câu đố 639 e
tích hơn. Như vậy hệ thức giải thích nguyên do của gió và bão, sự bay lên của các khí cầu không khí nóng – ngay cả hiện tượng trong Hình 277 – cách hoạt động của máy xe hơi, lý do lớp ozone bị chất khí nào đó phá huỷ, hay tại sao trong những ngày hè cực nóng của năm 2001 ở miền nam Thổ Nhĩ Kỳ, người ta lại cần tới mặt nạ oxygen để đi ra ngoài đường lúc ban ngày.

Hệ thức này cũng giải thích tại sao vào ngày 21/08/1986, trên 1000 người và 3000 gia súc bị chết ở Cameroon. Họ đang sống dưới chân một núi lửa mà miệng núi là một cái hồ, *hồ Nyos*. Hoá ra núi lửa liên tục toả ra carbon dioxide, hay CO_2, vào trong hồ. Carbon dioxide thường hoà tan trong nước. Nhưng vào tháng 08/1986, một biến cố không rõ đã kích khởi việc giải phóng các bọt khí chứa khoảng 1 triệu tấn CO_2, tức 1 kilomet khối, vào khí quyển. Vì carbon dioxide ($2.0\,\mathrm{kg/m^3}$) có mật độ lớn hơn không khí ($1.2\,\mathrm{kg/m^3}$), khí này tràn xuống thung lũng, làng mạc dưới chân núi lửa. Khí này không màu, không mùi vị và gây ra ngạt thở. Người ta chưa rõ là hệ thống khử khí độc được thiết lập trong



HÌNH 277 Điều gì đã xảy ra ở đây? (© Johan de Jong)

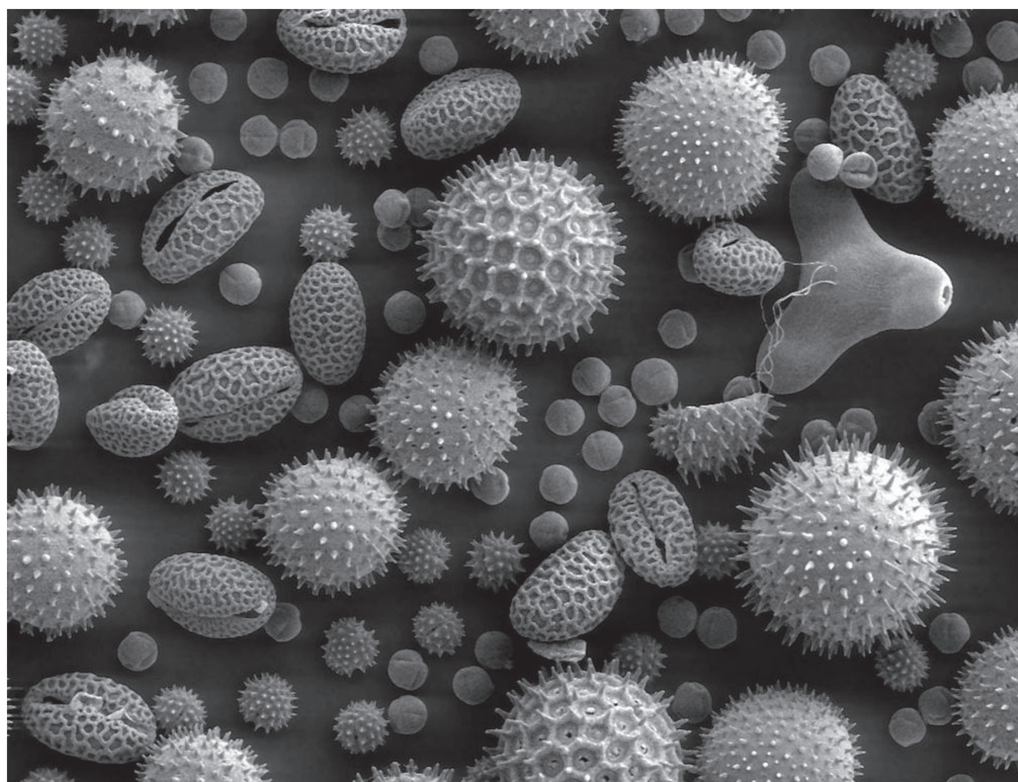
hồ sau biến cố đó có đủ mạnh để cho nó không còn tái diễn nữa hay không.

Bằng cách sử dụng hệ thức khí lý tưởng bạn có thể giải thích lý do khí cầu tăng kích thước khi bay lên cao trong khí quyển, mặc dù không khí ở đó lạnh hơn. Cho đến nay, khí cầu lớn nhất đã được chế tạo có đường kính, ở trên cao, là 170 m, nhưng chỉ là một phần của giá trị lúc bay lên. Giá trị đó là bao nhiêu? Câu đố 640 ny

Bây giờ bạn có thể giải được câu đố sau đây: làm cách nào để bạn có thể đo được trọng lượng của một xe hơi hay xe đạp chỉ bằng một cái thước? Câu đố 641 s

Hình ảnh chất khí được cấu tạo từ các hạt cứng không tương tác ở khoảng cách lớn bị sụp đổ ở nhiệt độ rất thấp. Tuy vậy, hệ thức khí lý tưởng (113) có thể được cải tiến để vượt qua các giới hạn này bằng cách tính đến độ sai lệch do sự tương tác giữa các nguyên tử hay phân tử. Cách tiếp cận này hiện nay là một cách giải quyết tiêu chuẩn và cho phép ta đo được cả những nhiệt độ cực kỳ thấp. Các hiệu ứng mà ta quan sát được dưới 80 K, như sự hoá rắn của không khí, sự di chuyển không ma sát của dòng điện hay các dòng lưu chất không ma sát, tạo thành một thế giới quyến rũ của riêng nó, một miền mỹ lệ của Vật lý nhiệt độ thấp, lĩnh vực mà sau này ta sẽ thám hiểm tiếp. Xem 291 Xem 292 Quyển V, trang 108

Quyển V, trang 102 Không lâu sau Bernoulli, các hoá học gia tìm được các lập luận mạnh mẽ để khẳng định sự hiện hữu của nguyên tử. Họ khám phá ra rằng các phản ứng hoá học xảy ra theo ‘các tỷ lệ cố định’: các hoá chất chỉ phản ứng với nhau theo các tỷ số đặc biệt của lượng chất. Nhiều nhà nghiên cứu, bao gồm John Dalton, cho rằng tính chất này có được là do trong Hoá học, mọi phản ứng xảy ra theo từng nguyên tử. Thí dụ như 2 nguyên tử hydrogen và 1 nguyên tử oxygen tạo thành một phân tử nước theo cách này – mặc dù thời đó chưa có các thuật ngữ này. Mối liên hệ này được biểu diễn bằng công thức hoá học H_2O. Những lập luận này vững chắc nhưng đã không thuyết phục được mọi người. Sau cùng, sự hiện hữu của nguyên tử đã được khẳng định nhờ sự quan sát trực tiếp các hiệu ứng do chuyển động của chúng gây ra.



HÌNH 278 Một tấm ảnh của các hạt phấn hoa – kích thước của trường khoảng 0.3 mm – được chụp bằng một kính hiển vi điện tử (Dartmouth College Electron Microscope Facility).

Quyển III, trang 183

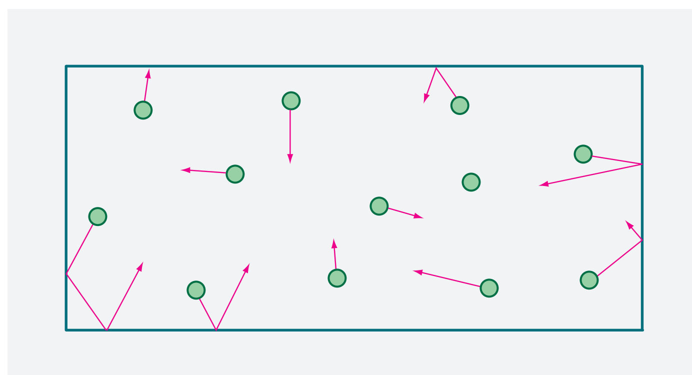
Chuyển động Brown

Nếu lưu chất được tạo thành từ các hạt chuyển động hỗn loạn thì các chuyển động ngẫu nhiên này phải có các hiệu ứng quan sát được. Một thí dụ được trình bày trong Hình 280. Các hạt này hình như chuyển động theo các đường zig zag ngẫu nhiên. Lucretius là người mô tả đầu tiên vào năm 60 BCE, trong bài thơ *De rerum natura* của ông. Trong bài thơ đó Lucretius nói về một hiện tượng thông thường: các hạt bụi khiêu vũ trong không khí được Mặt trời chiếu sáng.

Năm 1785, Jan Ingenhousz thấy rằng bụi than không bao giờ đứng yên. Thật vậy, dưới kính hiển vi, ta có thể dễ dàng quan sát thấy bụi than hay các hạt nhỏ khác trong hay trên chất lỏng không bao giờ đứng yên. Ingenhousz khám phá ra hiện tượng mà ngày nay ta gọi là *chuyển động Brown*. Bốn mươi năm sau, nhà thực vật học Robert Brown là người Anh đầu tiên lặp lại thí nghiệm, lần này là các hạt nhỏ nổi trong không bào *bên trong* phấn hoa. Các thí nghiệm do các nhà nghiên cứu khác tiến hành đã chứng tỏ rằng việc quan sát thấy chuyển động ngẫu nhiên này độc lập với loại hạt và loại chất lỏng. Nói cách khác, Ingenhousz đã khám phá ra một dạng cơ bản của *tiếng ồn* trong thiên nhiên.

Vào khoảng năm 1860, các nhà nghiên cứu khác nhau đều giải thích nguyên nhân gây ra chuyển động ngẫu nhiên của các hạt trong chất lỏng là do các phân tử của chất lỏng va chạm với các hạt đó. Vào năm 1905 và 1906, Marian von Smoluchowski và một cách độc lập, Albert Einstein cho rằng điều này có thể được kiểm chứng bằng thực nghiệm,

Xem 293



HÌNH 279 Ý tưởng cơ bản của Cơ học thống kê về chất khí: chất khí là hệ các hạt chuyển động và áp suất bắt nguồn từ sự va chạm của chúng với bình chứa.

mặc dù vào thời đó không có ai quan sát được các phân tử một cách trực tiếp. Việc kiểm chứng sử dụng các tính chất đặc biệt của tiếng ồn nhiệt.

Từ lâu người ta đã biết rằng nếu các phân tử, tức là các hạt vật chất không phân chia được, thực sự hiện hữu, thì nhiệt năng phải là chuyển động hỗn loạn của các hạt này và nhiệt độ phải là động năng trung bình cho mỗi bậc tự do của chúng. Mô hình của

Trang 392

Bernoulli trong Hình 279 dẫn đến kết quả là đối với khí đơn nguyên tử động năng T_{kin}

Câu đố 642 ny

của mỗi hạt được tính theo công thức

$$T_{\mathrm{kin}} = \frac{3}{2}kT \qquad (114)$$

trong đó T là nhiệt độ. *Hằng số Boltzmann* $k = 1.4 \cdot 10^{-23}$ J/K là thừa số chuyển đổi tiêu chuẩn giữa nhiệt độ và năng lượng.* Ở nhiệt độ phòng 293 K, động năng của 1 hạt là 6 zJ.

Nếu bạn sử dụng hệ thức (114) để tính toán tốc độ của các phân tử không khí ở nhiệt

Câu đố 643 e

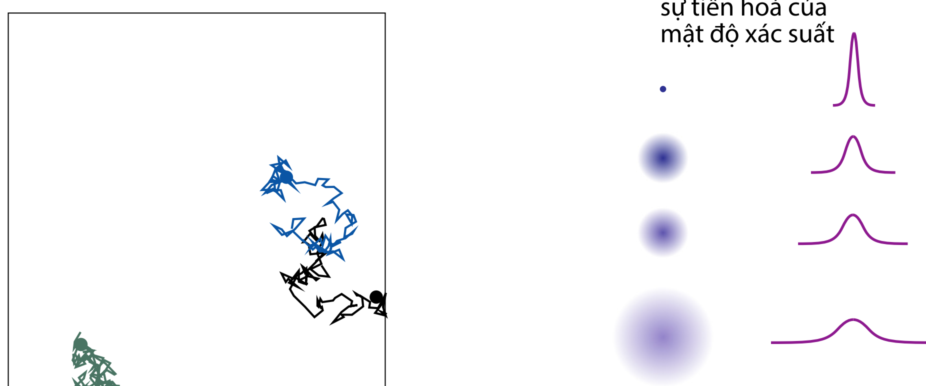
độ phòng, bạn sẽ kiếm được kết quả nhiều trăm m/s, khoảng tốc độ âm thanh! Với tốc độ như vậy tại sao khói từ một ngọn nến lại mất nhiều thời gian để khuếch tán khắp phòng mà không có một dòng không khí nào cả? Rudolph Clausius (b. 1822 Köslin, d. 1888 Bonn) đã trả lời câu hỏi này vào giữa thế kỷ 19: sự khuếch tán của khói bị chậm lại do va chạm với các phân tử không khí, giống như phấn hoa va chạm với các phân tử chất lỏng. Vì chảy thường hiệu quả hơn khuếch tán nên vật liệu không chảy được thì ở nơi đó sự khuếch tán trở nên quan trọng: chất rắn. Sự tôi kim loại và sự chế tạo chất bán dẫn là các thí dụ.

Sự mô tả chuyển động Brown có thể kiểm chứng được bằng cách theo dõi độ dời của các hạt phấn hoa dưới kính hiển vi. Ban đầu ta có thể đoán là độ dời trung bình của hạt

* Hằng số Boltzmann k được Max Planck khám phá và đặt tên, trong cùng một công trình trong đó ông cũng đã khám phá ra hằng số Planck $\hbar$, lượng tử tác dụng. Để biết thêm chi tiết về Max Planck, hãy xem Quyển III.

Quyển III, trang 149

Planck đặt tên hằng số Boltzmann theo tên Vật lý gia có uy tín Ludwig Boltzmann (b. 1844 Vienna, d. 1906 Duino), người nổi tiếng với công trình về Nhiệt động lực học. Boltzmann đã giải thích mọi hiện tượng và thí nghiệm nhiệt động lực, kể cả entropy, như là kết quả của hành trạng của các phân tử. Hình như Boltzmann đã tự sát một phần vì sự thù nghịch của đồng nghiệp nhắm vào ông và tư tưởng của ông. Ngày nay, tác phẩm của ông được xem là những học liệu mẫu mực.



HÌNH 280 Đường đi của các hạt trong chuyển động Brown và phân bố độ dời của chúng.

phấn hoa sau n va chạm sẽ bằng 0 vì vận tốc các phân tử có tính ngẫu nhiên. Tuy vậy, điều này sai, như thí nghiệm đã cho ta thấy.

Người ta đã quan sát thấy sự gia tăng của trung bình của *bình phương* độ dời, ký hiệu $\langle d^2 \rangle$, trong trường hợp phấn hoa. Ta không thể tiên đoán hướng chuyển động của hạt nhưng nó có chuyển động. Nếu khoảng cách mà hạt chuyển động sau một va chạm là l, thì trung bình của bình phương độ dời sau n va chạm, như bạn có thể tự chứng minh, là

Câu đố 644 ny

$$\langle d^2 \rangle = nl^2 \ . \tag{115}$$

Đối với các phân tử có có vận tốc trung bình v theo thời gian t thì

$$\langle d^2 \rangle = nl^2 = vlt \ . \tag{116}$$

Nói cách khác, trung bình của bình phương độ dời tăng tỷ lệ với thời gian. Dĩ nhiên điều này chỉ đúng nếu chất lỏng được tạo thành từ các phân tử tách biệt. Việc đo nhiều lần vị trí của hạt sẽ cho ta phân bố như trong Hình 280 là xác suất mà hạt được tìm thấy ở khoảng cách đã cho kể từ điểm khởi đầu. Đây được gọi là *phân bố chuẩn (Gauss)*. Năm 1908, Jean Perrin* đã thực hiện nhiều thí nghiệm để kiểm tra tiên đoán này. Ông nhận thấy rằng phương trình (116) phù hợp hoàn toàn với các quan sát, và như vậy thuyết phục được mọi người là chuyển động Brown thực sự bắt nguồn từ sự va chạm với các phân tử của chất lỏng bao quanh, đúng như ta mong đợi.

Xem 294

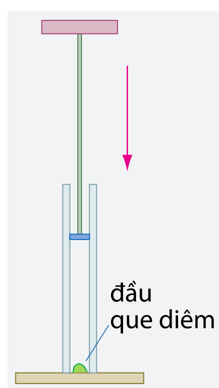
** Perrin đã nhận giải Nobel vật lý 1926 cho những thí nghiệm này.

Trang 424

* Jean Perrin (b. 1870 Lille, d. 1942 New York), vật lý gia uy tín, đã cống hiến sự nghiệp cho việc chứng minh giả thuyết nguyên tử bằng thực nghiệm và xác định số Avogadro; trong khi theo đuổi mục đích này ông đã hoàn thiện việc sử dụng nhũ tương, chuyển động Brown và các lớp dầu mỏng. Bài phát biểu khi nhận giải Nobel của ông (nobelprize.org/physics/laureates/1926/perrin-lecture.html) đã kể về câu chuyện nghiên cứu thú vị này. Ông đã viết quyển sách quan trọng *Les atomes* và đã sáng lập Trung tâm nghiên cứu khoa học quốc gia. Ông là người đầu tiên vào năm 1901, cho rằng nguyên tử có thể tương tự như một Thái dương hệ thu nhỏ.

** Trong một bài nghiên cứu thú vị, Pierre Gaspard và cộng sự trong năm 1998 đã chứng tỏ rằng chuyển động Brown có tính hỗn loạn, theo ý nghĩa chính xác của Vật lý giai đoạn sau này.

Xem 295



HÌNH 281 Bơm lửa.

Einstein cũng đã chứng tỏ rằng ta có thể sử dụng thí nghiệm tương tự để xác định số phân tử trong 1 lít nước (hay tương đương, hằng số Boltzmann k). Bạn có thể chỉ ra cách mà ông đã làm không?

Câu đố 645 d

Lý do hòn đá không trơn nhẵn, không fractal và cũng không được tạo thành từ các trái banh nhỏ cứng

Việc tìm hiểu nhiệt độ cho ta một kết quả thú vị khác. Các nhà nghiên cứu đã nghiên cứu chất khí trước tiên và đã đo năng lượng cần để nung nóng chúng lên 1 K. Kết quả khá đơn giản: mọi chất khí chỉ chia nhau vài giá trị khi ta tính đến số phân tử N. Khí đơn nguyên tử (trong một bình chứa có thể tích không đổi và ở nhiệt độ thích hợp) cần $3Nk/2$, khí lưỡng nguyên tử (và các khí có phân tử thẳng) cần $5Nk/2$, và hầu hết mọi chất khí khác cần $3Nk$, trong đó $k = 1.4 \cdot 10^{-23}$ J/K là hằng số Boltzmann.

Trang 392

Chẳng bao lâu sau ta đã có cách giải thích kết quả này: mỗi bậc tự do nhiệt động lực* đóng góp $kT/2$ vào năng lượng tổng cộng, trong đó T là nhiệt độ. Như vậy số bậc tự do trong các vật rắn vật lý thì hữu hạn. Các vật thể không liên tục, cũng không fractal vì nếu như vậy thì nhiệt năng riêng của chúng sẽ lớn vô hạn. Vật chất thực sự được tạo thành từ các thực thể cơ bản nhỏ.

Tất cả các bậc tự do đều đóng góp vào nhiệt năng riêng. Ít nhất đây là điều mà Vật lý cổ điển đã tiên đoán. Vật rắn như các hòn đá, có 6 bậc tự do nhiệt động lực và sẽ có nhiệt năng riêng là $3Nk$. Ở nhiệt độ cao người ta đã quan sát thấy điều này. Nhưng số đo của chất rắn ở nhiệt độ phòng cho giá trị nhỏ hơn và nhiệt độ càng thấp thì giá trị này càng nhỏ. Ngay cả chất khí cũng cho các giá trị nhỏ hơn các giá trị đã đề cập khi nhiệt độ đủ thấp. Nói cách khác, phân tử và nguyên tử sẽ hành xử khác đi khi năng lượng nhỏ: nguyên tử là các trái banh nhỏ cứng và không biến đổi được. Sự sai lệch của các giá trị này là một trong những gợi ý đầu tiên của Thuyết lượng tử.

* *Bậc tự do nhiệt động lực*, đối với một hạt trong hệ, là số chiều mà nó có thể chuyển động trong đó, cộng với số chiều mà nó bị giữ trong một thế. Các nguyên tử trong chất rắn có bậc là 6, các hạt trong khí đơn nguyên tử chỉ có bậc là 3; các hạt trong khí lưỡng nguyên tử hay phân tử rắn thẳng có bậc là 5. Số bậc tự do của các phân tử lớn hơn phụ thuộc hình dạng của chúng.

Xem 296

Entropy

> – Nó không thể đảo ngược.
> – Giống như áo mưa của tôi!
>
> Mel Brooks, *Spaceballs*, 1987

Xem 298

Mọi lĩnh vực của Vật lý đều mô tả sự thay đổi theo 3 đại lượng: năng lượng, một đại lượng cường tính và một đại lượng quảng tính đặc trưng cho lĩnh vực đó. Trong Nhiệt vật lý, đại lượng cường tính là nhiệt độ. Đại lượng quảng tính là gì?

Câu trả lời hiển nhiên sẽ là 'nhiệt'. Điều không may là các nhà vật lý thường gọi 'nhiệt' không giống như ta gọi 'nhiệt' trong ngôn ngữ thông thường. Vì lý do có tính lịch sử này, ta cần giới thiệu một thuật ngữ mới. Đại lượng quảng tính tương ứng với điều ta gọi là 'nhiệt' trong ngôn ngữ thông thường là *entropy* trong Vật lý.*

Entropy mô tả *nhiệt lượng* thông thường. Entropy được đo bằng joule/kelvin hay J/K; một số giá trị (theo lượng vật chất) được liệt kê trong Bảng 47 và Bảng 48. Entropy mô tả nhiệt thông thường giống như động lượng mô tả chuyển động thông thường. Một cách tương ứng, nhiệt độ mô tả *cường độ* của nhiệt hay entropy thông thường, giống như tốc độ mô tả cường độ chuyển động.

Khi hai vật có tốc độ khác nhau va chạm, một dòng động lượng chảy qua chúng. Tương tự như vậy, khi 2 vật có nhiệt độ khác nhau tiếp xúc, một dòng entropy chảy qua chúng. Bây giờ ta định nghĩa khái niệm entropy – 'nhiệt thông thường' – một cách chính xác hơn và tìm hiểu các tính chất của nó kỹ càng hơn.

Entropy đo mức độ *hoà trộn* của năng lượng bên trong một hệ, tức là mức độ năng lượng lan ra hay chia sẻ giữa các thành phần của một hệ. Khi mọi thành phần của hệ – thường là phân tử hay nguyên tử – chuyển động theo cùng một lối, *hoà hợp với nhau*, entropy của hệ sẽ nhỏ nhất. Khi các thành phần của hệ chuyển động hoàn toàn độc lập, *ngẫu nhiên*, entropy sẽ lớn. Tóm lại, entropy đo số năng lượng mất trật tự cho mỗi đơn vị nhiệt độ trong một hệ. Đó là lý do đơn vị của nó là J/K.

Entropy là một đại lượng quảng tính, giống như điện tích và động lượng. Nó được đo bằng cách truyền nó cho một dụng cụ đo. Dụng cụ đo đơn giản nhất là một hỗn hợp nước và nước đá. Khi một lượng S của entropy được truyền cho hỗn hợp, lượng nước đá nóng chảy sẽ là số đo của entropy được truyền đi.

Nói chính xác hơn, lượng entropy ΔS chảy vào một hệ được đo bằng cách đo năng lượng E chảy vào hệ đó và ghi lại nhiệt độ T xảy ra trong quá trình này:

$$\Delta S = \int_{T_{\text{start}}}^{T_{\text{end}}} \frac{dE}{T} \,. \qquad (117)$$

Thường thì đại lượng này có thể xem gần đúng bằng $\Delta S = P\,\Delta t/\overline{T}$, trong đó P là công suất của thiết bị nung nóng, Δt là thời gian nung nóng, và $\overline{T}$ là nhiệt độ trung bình.

Vì entropy đo một lượng, một đại lượng quảng tính chứ không phải cường tính, nên entropy *sẽ được cộng lại* khi các hệ giống nhau được kết hợp thành một hệ. Khi 2 chai

* Thuật ngữ 'entropy' được vật lý gia Rudolph Clausius (b. 1822 Köslin, d. 1888 Bonn) phát minh vào năm 1865. Ông tạo ra nó từ tiếng Hy Lạp ἐν 'trong' và τρόπος 'hướng', để làm cho nó nghe giống như 'energy' (năng lượng). Thuật ngữ entropy luôn luôn có ý nghĩa đã cho ở đây.

Ngược lại, điều mà các nhà vật lý gọi theo truyền thống là 'nhiệt' là một dạng năng lượng và nói chung không phải là một đại lượng quảng tính.

BẢNG 47 Một số giá trị entropy đặc biệt.

Quá trình/Hệ	Entropy
Carbon, rắn, dưới dạng kim cương	2.43 J/(K mol)
Carbon, rắn, dưới dạng graphite	5.69 J/(K mol)
Sự nóng chảy của nước đá	1.21 kJ/(K kg) = 21.99 J/(K mol)
Sắt, rắn, ở điều kiện tiêu chuẩn	27.2 J/(K mol)
Magnesium, rắn, ở điều kiện tiêu chuẩn	32.7 J/(K mol)
Nước, lỏng, ở điều kiện tiêu chuẩn	70.1(2) J/(K mol)
Sự sôi của 1 kg nước ở 101.3 kPa	6.03 kJ/K= 110 J/(K mol)
Khí Helium ở điều kiện tiêu chuẩn	126.15 J/(K mol)
Khí Hydrogen ở điều kiện tiêu chuẩn	130.58 J/(K mol)
Hơi Carbon ở điều kiện tiêu chuẩn	158 J/(K mol)
Hơi nước ở điều kiện tiêu chuẩn	188.83 J/(K mol)
Oxygen O_2 ở điều kiện tiêu chuẩn	205.1 J/(K mol)
Khí C_2H_6 ở điều kiện tiêu chuẩn	230 J/(K mol)
Khí C_3H_8 ở điều kiện tiêu chuẩn	270 J/(K mol)
Khí C_4H_{10} ở điều kiện tiêu chuẩn	310 J/(K mol)
Hơi C_5H_{12} ở điều kiện tiêu chuẩn	348.9 J/(K mol)
Hơi $TiCl_4$ ở điều kiện tiêu chuẩn	354.8 J/(K mol)

nước 1 lít ở cùng một nhiệt độ được trộn với nhau, entropy của nước được cộng lại. Một lần nữa, điều này lại tương ứng với hành trạng của động lượng: nó cũng được cộng lại khi các hệ kết hợp với nhau.

Giống như các đại lượng quảng tính khác, entropy có thể tích luỹ trong một vật và có thể chảy vào hay ra khỏi vật. Khi ta biến đổi nước thành hơi nước bằng cách đun nóng nó, ta nói rằng ta đã thêm entropy vào nước. Ta cũng thêm entropy khi biến đổi nước đá thành nước. Sau cả 2 biến đổi, entropy cộng thêm được chứa trong phase nóng hơn. Đúng ra ta có thể *đo* entropy mà ta đã thêm vào bằng cách đo lượng nước đá tan chảy hay lượng nước hoá hơi. Tóm lại, entropy là một thuật ngữ chính xác cho điều mà ta gọi là 'nhiệt' trong ngôn ngữ thông thường.

Khi ta hoà tan một nhúm muối vào nước, entropy của toàn bộ phải tăng lên vì độ mất trật tự tăng lên. Bây giờ ta sẽ tìm hiểu quá trình này.

Entropy từ các hạt

Một khi việc nhiệt và nhiệt độ bắt nguồn từ chuyển động của các hạt vi mô đã trở nên rõ ràng, người ta sẽ hỏi entropy vi mô *là* gì. Có nhiều cách trả lời khác nhau. Hai cách trả lời cực đoan là:

▷ Entropy là (logarithm của) số trạng thái vi mô khả hữu W. Một trạng thái vĩ mô đã cho có thể có nhiều thể hiện vi mô. Logarithm của số này, nhân

BẢNG 48 Một số giá trị entropy cho mỗi hạt điển hình ở nhiệt độ và áp suất tiêu chuẩn là bội của hằng số Boltzmann.

Vật liệu	Entropy cho mỗi hạt
Chất rắn đơn nguyên tử	0.3 k tới 10 k
Kim cương	0.29 k
Graphite	0.68 k
Chì	7.79 k
Khí đơn nguyên tử	15-25 k
Helium	15.2 k
Radon	21.2 k
Khí lưỡng nguyên tử	15 k tới 30 k
Chất rắn đa nguyên tử	10 k tới 60 k
Chất lỏng đa nguyên tử	10 k tới 80 k
Chất khí đa nguyên tử	20 k tới 60 k
Icosane	112 k

cho hằng số Boltzmann k, là entropy.*

▷ Entropy là con số kỳ vọng của câu hỏi có-không nhân cho $k \ln 2$, đáp số sẽ cho ta biết mọi điều về hệ này, tức là về trạng thái vi mô của nó.

Tóm lại, entropy càng lớn, các vi trạng thái khả hữu càng nhiều. Thông qua 2 định nghĩa này, entropy đo lượng ngẫu nhiên trong một hệ. Nói cách khác, entropy đo tính khả biến của năng lượng: entropy lớn có nghĩa là tính khả biến nhỏ. Hay nói khác đi, entropy đo *độ tự do* trong việc lựa chọn các vi trạng thái mà hệ có. Entropy lớn tức là độ tự do chọn lựa các vi trạng thái lớn. Thí dụ như khi một phân tử glucose (một loại đường) được tạo ra trong quá trình quang tổng hợp, có khoảng 40 bit entropy được giải phóng. Điều này có nghĩa là sau khi glucose được tạo thành, ta có thêm 40 câu hỏi có-không phải trả lời để xác định toàn bộ các trạng thái vi mô của hệ. Các Vật lý gia thường sử dụng đơn vị vĩ mô; phần lớn các hệ mà ta quan tâm đều lớn và vì vậy entropy bằng 10^{23} bit được viết thành 1 J/K. (Đây chỉ là gần đúng. Bạn có thể tìm ra giá trị chính xác không?)

Câu đố 646 ny

Tóm lại, entropy là số đo riêng dùng để đặc trưng hoá sự mất trật tự của các hệ nhiệt. Có 3 điểm cần làm ở đây. Trước hết, entropy không phải là *số đo* của sự mất trật tự mà chỉ là *một* số đo của sự mất trật tự. Do đó việc xem entropy *đồng nghĩa* với khái niệm mất trật tự là *không đúng*, như người ta thường nói trong sách phổ thông. Entropy chỉ được xác định đối với các hệ có một nhiệt độ, nói cách khác, chỉ những hệ cân bằng hay gần cân bằng. (Đối với các hệ không cân bằng, người ta chưa tìm thấy số đo của sự mất trật tự nào; có lẽ là không có.) Đúng ra việc sử dụng thuật ngữ entropy đã suy thoái nhiều đến nỗi đôi khi người ta phải gọi nó là entropy *nhiệt động lực* cho rõ ràng.

Xem 299

Thứ hai, entropy liên hệ với thông tin *chỉ khi* thông tin cũng được định nghĩa là $-k \ln W$. Để làm rõ điểm này, hãy lấy một cuốn sách khối lượng 1 kg. Ở nhiệt độ phòng,

* Khi Max Planck tới Áo để tìm nấm mộ vô danh của Boltzmann để an táng, ông đã khắc công thức $S = k \ln W$ lên tấm mộ bia. (Ngày nay có vật lý gia nào tài trợ cho việc an táng một vật lý gia khác không?)

entropy của nó khoảng 4 kJ/K. Thông tin được in trong sách, thí dụ 500 trang, mỗi trang có 40 hàng, mỗi hàng chứa 80 ký tự chọn ra từ 64 khả năng, tương ứng với entropy là $4 \cdot 10^{-17}$ J/K. Tóm lại, điều mà người ta thường gọi là 'thông tin' trong đời sống thông thường là một phần không đáng kể của điều mà các vật lý gia gọi là thông tin. Entropy được định nghĩa bằng cách sử dụng khái niệm thông tin *vật lý*.

Sau cùng, entropy *không phải là* số đo của điều mà ta thường gọi là *độ phức tạp* của một trạng thái. Đúng ra chưa có ai tìm ra đại lượng mô tả khái niệm này, một công việc khó lạ thường. Bạn hãy thử xem!

Xem 300
Câu đố 647 ny

Tóm lại, nếu bạn nghe thuật ngữ entropy được sử dụng với ý nghĩa khác với biểu thức $S = k \ln W$, thì hãy thận trọng. Có lẽ đã có người cố làm cho bạn rối trí bằng một cơn mộng tưởng!

Entropy nhỏ nhất của thiên nhiên – lượng tử thông tin

Trước khi chúng ta kết thúc việc bàn luận về Nhiệt vật lý ta phải chỉ ra tầm quan trọng của hằng số Boltzmann k theo một cách khác. Ta đã thấy hằng số này xuất hiện khi tính chất hạt của vật chất trở nên quan trọng; nó nói lên một điều là vật chất được tạo thành từ các thực thể nhỏ cơ bản. Cách phát biểu gây ấn tượng nhiều nhất là:

▷ Có một entropy cực tiểu trong thiên nhiên: $S \geqslant k$.

Kết quả này xưa cả trăm năm rồi; người phát biểu nó rõ ràng nhất (với một thừa số khác) là Leo Szilard. Một người nữa là Léon Brillouin (với một thừa số khác nữa). Phát biểu này cũng được sử dụng làm *định nghĩa* của hằng số Boltzmann k.

Xem 302

Sự hiện hữu của entropy cực tiểu trong thiên nhiên là một quan niệm kiên định. Nó loại bỏ khả năng liên tục và tính fractal của vật chất. Một entropy cực tiểu hàm ý rằng vật chất có cấu tạo gồm một số hữu hạn các thành phần nhỏ. Giới hạn dưới của entropy khẳng định vật chất có cấu tạo hạt.* Giới hạn của entropy cũng chứng tỏ rằng Vật lý Galilei không đúng: nó giả sử rằng có các đại lượng nhỏ tuỳ ý. Giới hạn entropy là giới hạn đầu tiên trong nhiều giới hạn của chuyển động mà ta sẽ gặp trong cuộc hành trình. Sau khi ta đã tìm thấy tất cả các giới hạn, ta có thể bắt đầu giai đoạn sau cùng dẫn đến sự mô tả thống nhất chuyển động.

Sự có mặt của đại lượng cực tiểu sẽ khiến cho độ chính xác của các phép đo bị giới hạn. Các phép đo không thể có độ chính xác vô hạn. Giới hạn này thường được biểu diễn dưới dạng một hệ thức bất định. Thật vậy, sự hiện hữu của entropy cực tiểu có thể phát biểu lại thành một hệ thức bất định giữa nhiệt độ T và nội năng U của một hệ:

$$\Delta\frac{1}{T}\,\Delta U \geqslant \frac{k}{2}\,. \tag{118}$$

Hệ thức này ** do Niels Bohr đưa ra; nó đã được đề cập bởi Werner Heisenberg, người đã gọi nó là một trong những hệ thức bất định cơ bản của thiên nhiên. Như vậy hằng số

Xem 304
Quyển VI, trang 31

* Entropy cực tiểu hàm ý vật chất được tạo thành từ các hình cầu tí hon; *tác dụng* cực tiểu, mà ta sẽ gặp trong Thuyết lượng tử sẽ dẫn tới việc những hình cầu này thực sự là các đám mây nhỏ.

Xem 303

** Có vẻ như giá trị lịch sử của vế phải, k, phải được sửa thành $k/2$, với cùng một lý do như lượng tử tác dụng $\hbar$ xuất hiện với thừa số 1/2 trong hệ thức bất định của Heisenberg.

Xem 305
Xem 302
Boltzmann (chia cho 2) ấn định giá trị entropy khả hữu nhỏ nhất trong thiên nhiên. Vì lý do này, Gilles Cohen-Tannoudji gọi nó là *lượng tử thông tin* và Herbert Zimmermann gọi nó là *lượng tử entropy*.

Hệ thức (118) hướng tới một kiểu thức tổng quát hơn. Mỗi giá trị cực tiểu đối với một biến động lực có một hệ thức bất định tương ứng. Ta sẽ gặp lại điều này nhiều lần trong trong phần còn lại của cuộc thám hiểm, quan trọng nhất là trường hợp của lượng tử tác dụng và hệ thức bất định của Heisenberg.

Quyển IV, trang 15
Sự hiện hữu của entropy nhỏ nhất có nhiều hệ quả. Đầu tiên, nó làm sáng tỏ Nguyên lý 3 của Nhiệt động lực học. Một entropy cực tiểu hàm ý rằng không thể đạt tới độ 0 tuyệt đối. Thứ hai, nó giải thích cho tính hữu hạn của entropy. Thứ ba, nó ấn định giá trị tuyệt đối của entropy đối với mỗi hệ; trong Vật lý các môi trường liên tục, entropy, giống như năng lượng chỉ được xác định sai khác một hằng số. Lượng tử entropy sẽ giải quyết tất cả những vấn đề này.

Sự hiện hữu của một giá trị cực tiểu đối với một biến động lực hàm ý rằng một hệ thức bất định có hai đại lượng mà tích của chúng tạo ra biến động lực đó. Thí dụ, tốc độ sinh ra entropy và thời gian là một cặp như vậy. Thật vậy, hệ thức bất định liên kết tốc độ sinh ra entropy $P = \mathrm{d}S/\mathrm{d}t$ và thời gian t là:

$$\Delta P \ \Delta t \geqslant \frac{k}{2} \,. \tag{119}$$

Từ hệ thức này và hệ thức (118) ta có thể suy ra toàn bộ Vật lý thống kê, tức là lý thuyết chính xác về Tĩnh nhiệt học và Nhiệt động lực học. Ta sẽ không đi xa hơn ở đây. (Bạn có thể chứng minh rằng Nguyên lý 3 được suy ra từ sự hiện hữu của entropy cực tiểu không?) Ta sẽ tự giới hạn vào viên đá nền tảng của Nhiệt động lực học: Nguyên lý 2.
Xem 305, Xem 303
Câu đố 648 ny

Có phải mọi vật đều được tạo thành từ các hạt không?

> “Vật lý gia là một con đường nhỏ dẫn tới tri thức về nguyên tử.”
>
> George Wald

Xem 306

Về mặt lịch sử, việc nghiên cứu Cơ học thống kê đã có vai trò quan trọng cơ bản đối với Vật lý. Nó cung cấp bằng chứng đầu tiên về việc các vật thể được tạo thành từ các hạt tương tác với nhau. Câu chuyện về chủ đề này đúng ra là một chuỗi dài các lập luận để chứng minh rằng mọi tính chất mà ta gán cho các vật như kích thước, độ cứng, màu sắc, khối lượng, mật độ, từ tính, độ dẫn nhiệt / điện, là kết quả của sự tương tác của các hạt tạo nên những vật đó.

▷ Mọi vật đều được tạo thành từ các hạt tương tác với nhau.

Khám phá này thường được gọi là kết quả chính của khoa học hiện đại.

Trang 355
Khám phá này đã được tạo ra như thế nào? Bảng 43 đã liệt kê các đại lượng quảng tính chính được sử dụng trong Vật lý. Các đại lượng quảng tính có thể chảy. Hoá ra mọi dòng trong thiên nhiên đều *bao gồm* nhiều quá trình sơ cấp, như ta thấy trong Bảng 49. Ta đã thấy các dòng khối lượng, thể tích, điện tích, entropy và vật chất có tính đa hợp. Sau này, Thuyết lượng tử sẽ chứng tỏ rằng các dòng moment động lượng và lượng tử số

BẢNG 49 Một số giá trị dòng cực tiểu tìm thấy trong thiên nhiên.

Đối tượng quan sát	Dòng cực tiểu
Dòng vật chất	1 phân tử / nguyên tử hay 1 hạt
Dòng thể tích	1 phân tử / nguyên tử hay 1 hạt
Dòng moment động lượng	lượng tử tác dụng của Planck
Lượng hoá chất	1 phân tử / nguyên tử hay 1 hạt
Dòng entropy	entropy cực tiểu
Dòng điện tích	1 điện tích nguyên tố
Dòng ánh sáng	1 photon, lượng tử tác dụng của Planck

hạt nhân cũng có tính chất như vậy.

▷ Mọi dòng đều được tạo thành từ các hạt.

Sự thành công của quan niệm này đã khiến cho nhiều người tổng quát hoá nó thành phát biểu sau: 'Mọi vật ta quan sát được đều được tạo thành từ nhiều bộ phận.' Cách Xem 307 tiếp cận này đã được áp dụng thành công trong Hoá học với phân tử, trong Khoa học vật liệu và Địa chất học với tinh thể, trong Điện học với electron, trong nguyên tử với hạt sơ cấp, trong không gian với điểm, trong thời gian với thời điểm, trong ánh sáng với photon, trong Sinh học với tế bào, trong Di truyền học với gene, trong Thần kinh học với neuron, trong Toán học với tập hợp và quan hệ, trong Luận lý học với mệnh đề sơ cấp và ngay cả trong Ngôn ngữ học với hình vị và âm vị. Tất cả các khoa học này đều phát triển trên quan niệm là mọi vật được tạo thành từ *các bộ phận có liên hệ với nhau*. Quan niệm cơ bản này hiển nhiên đến nỗi ta nhận thấy khó có thể tìm ra một quan niệm Câu đố 649 e khác để thay thế nó; bạn hãy thử xem!

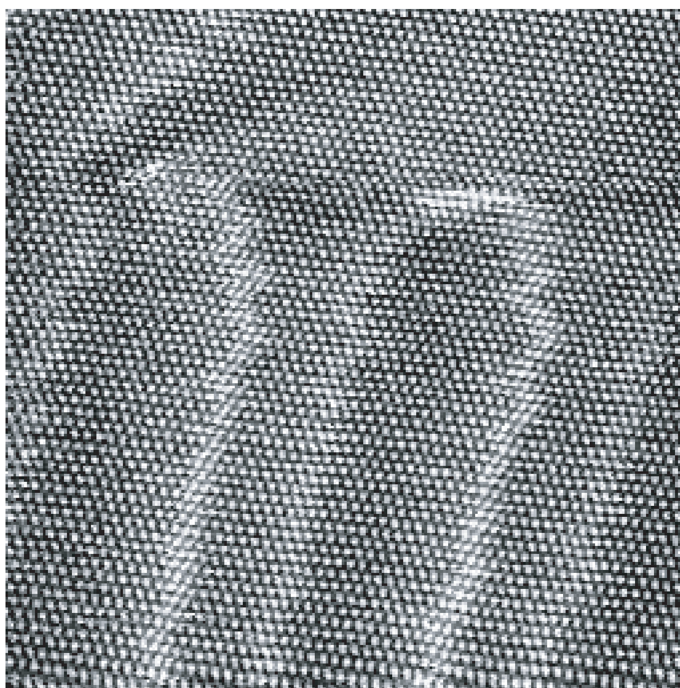
Tuy vậy, trong trường hợp *toàn thể* thiên nhiên thì quan niệm thiên nhiên là tổng của các bộ phận có liên hệ với nhau thì không đúng mà chỉ gần đúng. Hoá ra nó là một Quyển VI, trang 106 thành kiến và thành kiến này nặng nề đến nỗi nó đã kéo lùi sự phát triển của Vật lý trong thập niên cuối của thế kỷ 20. Đặc biệt, quan niệm này *không* áp dụng cho các hạt sơ cấp hay không gian:

▷ Các hạt sơ cấp hay không gian không có tính đa hợp.

Việc tìm ra một cách mô tả đúng cho toàn thể thiên nhiên, hạt sơ cấp và không gian là thách thức lớn nhất trong cuộc phiêu lưu của chúng ta. Nó đòi hỏi một sự thay đổi hoàn toàn trong tập quán suy nghĩ. Còn nhiều điều thú vị ở phía trước.

> “Jede Aussage über Komplexe läßt sich in eine Aussage über deren Bestandteile und in diejenigen Sätze zerlegen, welche die Komplexe vollständig beschreiben.*”
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 2.0201

* 'Mọi phát biểu về các phức hợp đều có thể phân tích thành một phát biểu về các hợp phần của chúng và các mệnh đề mô tả các phức hợp này một cách đầy đủ.'



HÌNH 282 Một mặt tinh thể 111 của đơn tinh thể vàng, mỗi chấm sáng là một nguyên tử, với một lệch mạng bề mặt (© CNRS).

Nguyên lý 2 của Nhiệt động lực học

Trái với nhiều đại lượng quảng tính quan trọng khác, entropy *không* bảo toàn. Một mặt, trong các hệ kín, entropy tích luỹ và không bao giờ giảm đi; sự chia sẻ hay hoà trộn của năng lượng giữa các thành phần trong một hệ không thể hoàn tác. Mặt khác, sự chia sẻ hay hoà trộn có thể gia tăng một cách tự phát theo thời gian. Như vậy entropy chỉ 'bảo toàn một nửa'. Điều mà ta gọi là cân bằng nhiệt đơn giản là kết quả của sự hoà trộn có nhiều khả năng nhất. Entropy cho phép ta định nghĩa khái niệm *cân bằng* chính xác hơn, đó là trạng thái có entropy lớn nhất, hay năng lượng giữa các thành phần của hệ được chia sẻ nhiều nhất. Tóm lại, entropy của một hệ kín tăng lên cho tới khi đạt tới giá trị khả hữu cực đại tức giá trị cân bằng.

Sự không bảo toàn của entropy có một hệ quả có thể áp dụng rộng rãi. Khi một tảng đá bị tách ra khỏi núi, nó rơi xuống, lọt vào thung lũng, hơi nóng lên rồi dần dần ngừng lại. Ta không bao giờ thấy quá trình ngược lại, theo đó một tảng đá lạnh đi và lăn ngược lên. Tại sao? Ta có thể cho rằng chuyển động ngược lại không mâu thuẫn với bất cứ quy Câu đố 650 s luật hay kiểu thức nào về chuyển động mà ta đã tìm được cho tới nay.

Đá không bao giờ rơi ngược lên vì núi, thung lũng và đá đều được tạo thành từ *nhiều* hạt. Chuyển động của hệ nhiều hạt, đặc biệt trong lĩnh vực Nhiệt động lực học, được gọi là *quá trình*. Phần quan trọng của Nhiệt động lực học là phân biệt giữa các quá trình *thuận nghịch*, như chuyển động của hòn đá được ném đi và các quá trình *bất thuận nghịch*, như tảng đá rơi xuống như trong phần trước đã đề cập. Các quá trình bất thuận nghịch đều là các quá trình trong đó ma sát và sự tổng quát hoá đóng vai trò quan trọng. Quá trình bất thuận nghịch là những quá trình làm tăng sự chia sẻ hay hoà trộn năng Xem 308 lượng. Chúng rất quan trọng: nếu không có ma sát, nút áo và dây giày sẽ không chặt, ta

không thể đi hay chạy, máy pha cà phê sẽ không pha được cà phê và quan trọng hơn tất cả, ta sẽ không có ký ức.

Quyển IV, trang 160

Các quá trình bất thuận nghịch, theo nghĩa mà từ này được dùng trong Nhiệt động lực học, biến đổi chuyển động vĩ mô thành chuyển động vô tổ chức của mọi thành phần vi mô có liên quan: chúng làm tăng sự chia sẻ và hoà trộn năng lượng. Do đó chúng không 'bất thuận nghịch' *một cách chặt chẽ* – nhưng sự đảo ngược của chúng *rất khó* xảy ra. Ta có thể nói rằng entropy đo 'độ bất thuận nghịch': nó đo mức độ hoà trộn hay phân rã mà chuyển động tập thể đã trải qua.

Entropy không được bảo toàn. Thật vậy, entropy – 'nhiệt' – có thể xuất hiện từ chỗ không có gì, một cách tự phát, vì sự chia sẻ và hoà trộn năng lượng có thể tự xảy ra. Thí dụ như khi 2 chất lỏng khác nhau ở cùng nhiệt độ được trộn lai – như nước và acid sulphuric – nhiệt độ sau cùng của hỗn hợp có thể khác nhau. Tương tự như vậy, khi dòng điện chảy xuyên qua vật chất ở nhiệt độ phòng, hệ thống có thể nóng lên hay lạnh đi, tuỳ theo vật liệu.

Mọi thí nghiệm về nhiệt đều phù hợp với *Nguyên lý 2 của Nhiệt động lực học*:

▷ Entropy trong một hệ kín có khuynh hướng dẫn tới cực đại của nó.

Nói một cách tuỳ tiện, 'entropy không phải là cái mà ta thường thấy.' Trong phát biểu này, *hệ kín* là một hệ không trao đổi năng lượng hay vật chất với môi trường bên ngoài. Bạn có thể nghĩ ra một thí dụ không?

Câu đố 651 s

Trong một hệ kín, entropy không bao giờ giảm. Ngay cả cuộc sống thường ngày cũng cho ta thấy rằng trong một hệ kín, như một căn phòng, sự mất trật tự gia tăng theo thời gian, cho đến khi nó đạt tới một cực đại. Để làm giảm sự mất trật tự, ta cần sự nỗ lực, tức là công và năng lượng. Nói cách khác, để làm giảm sự mất trật tự trong một hệ, ta cần kết nối hệ với một nguồn năng lượng theo một cách thông minh. Vì lý do này, tủ lạnh cần dòng điện hay các nguồn năng lượng khác.

Xem 309

Câu đố 652 ny

Năm 1866, Ludwig Boltzmann đã chứng tỏ rằng Nguyên lý 2 là kết quả của Nguyên lý tác dụng cực tiểu. Bạn có thể hình dung và phác hoạ ra các ý tưởng tổng quát không?

Vì entropy không bao giờ giảm trong các hệ kín, *màu trắng sẽ không tồn tại lâu*. Khi sự mất trật tự gia tăng, màu trắng trở nên 'bẩn', thường là xám hay nâu. Có lẽ vì lý do này các vật màu trắng như y phục trắng, nhà trắng và nội y trắng được ưa chuộng trong xã hội của chúng ta. Các vật màu trắng thách thức sự suy tàn.

Nguyên lý 2 còn hàm ý rằng nhiệt không thể biến đổi hoàn toàn thành công. Nói cách khác, mọi động cơ nhiệt đều cần làm mát: đó là lý do có các khe trống ở phía trước các xe hơi. Nguyên lý 1 khi đó sẽ phát biểu rằng công suất cơ học của động cơ nhiệt là hiệu giữa dòng nhiệt năng ở nhiệt độ cao chảy vào và dòng nhiệt năng ở nhiệt độ thấp chảy ra. Nếu sự làm mát không tốt – thí dụ như vì thời tiết quá nóng hay tốc độ xe quá thấp – công suất của động cơ sẽ giảm đi. Mọi tài xế kinh nghiệm đều biết điều này.

Tóm lại, khái niệm entropy, tương ứng với 'nhiệt' trong đời sống thông thường – nhưng *không* tương ứng với điều mà theo cách gọi truyền thống là 'nhiệt' trong Vật lý! – mô tả tính ngẫu nhiên của chuyển động bên trong vật chất. Entropy không được bảo toàn: trong một hệ kín, entropy không bao giờ giảm, mà có thể tăng tới một giá trị cực đại. Tính không bảo toàn của entropy là do có nhiều thành phần bên trong các hệ thông thường. Số các thành phần lớn đã dẫn tới việc entropy không bảo toàn và do đó giải thích được việc có nhiều quá trình trong thiên nhiên không bao giờ xảy ra ngược lại

mặc dù theo nguyên tắc thì có thể.

Tại sao ta không thể nhớ tương lai?

> “Đó là một loại ký ức nghèo nàn chỉ hoạt động theo chiều ngược lại.”
>
> Lewis Carroll, *Alice ở xứ thần tiên*

Trang 41 Khi ta lần đầu bàn về thời gian, ta đã bỏ qua sự khác nhau giữa quá khứ và tương lai. Nhưng điều hiển nhiên là có sự khác biệt, vì ta không có khả năng nhớ về tương lai. Đây không phải là sự giới hạn của riêng não chúng ta. Mọi thiết bị mà ta đã phát minh, như băng ghi âm, máy chụp ảnh, báo và sách, chỉ nói với chúng ta về quá khứ. Có cách nào chế tạo ra máy quay video có một nút 'tương lai' không? Một thiết bị như vậy sẽ phải giải quyết một vấn đề khó khăn: làm thế nào để nó phân biệt được tương lai gần và tương lai xa? Cũng dễ dàng nhận ra là dù làm cách nào đi nữa thì điều này cũng sẽ mâu thuẫn với Nguyên lý 2. Đó là một điều không may vì ta cần một thiết bị chính xác như vậy để chứng minh rằng có chuyển động nhanh hơn ánh sáng. Bạn có tìm ra mối liên hệ không? Câu đố 653 e Câu đố 654 ny

Tóm lại, ta không thể nhớ tương lai vì entropy trong các hệ kín dẫn tới một cực đại. Nói một cách đơn giản hơn, ta có ký ức vì não được tạo thành từ nhiều hạt và vì vậy não bị giới hạn vào quá khứ. Tuy vậy, đối với các loại chuyển động đơn giản, khi chỉ liên quan tới vài hạt, sự khác biệt giữa quá khứ và tương lai biến mất. Đối với hệ vài hạt, không có sự khác biệt giữa thời gian trôi qua và thời gian đến gần. Ta có thể nói rằng tương lai chỉ khác với quá khứ trong não chúng ta, hay chỉ vì ma sát. Do đó, sự khác biệt này thường không được đề cập trong cuộc hành trình lên đỉnh, mặc dù nó là phần chính yếu trong kinh nghiệm của loài người chúng ta. Nhưng niềm vui của cuộc thám hiểm hiện giờ thì đúng là đã vượt qua sự giới hạn của chúng ta.

Dòng entropy

Ta đã biết từ kinh nghiệm hằng ngày là sự vận chuyển một đại lượng quảng tính luôn luôn dính tới ma sát. Ma sát sẽ làm sinh ra entropy. Đặc biệt, dòng entropy còn tự sinh ra entropy bổ sung. Thí dụ như khi một căn nhà được sưởi nóng entropy được sinh ra trong bức tường nhà. Việc sưởi nóng duy trì hiệu nhiệt độ ΔT giữa bên trong và bên ngoài căn nhà. Dòng nhiệt J đi qua 1 mét vuông của tường là

$$J = \kappa \Delta T = \kappa (T_\text{i} - T_\text{e}) \tag{120}$$

trong đó κ là hằng số đặc trưng cho khả năng dẫn nhiệt của tường. Trong khi dẫn nhiệt, tường cũng *sinh ra* entropy. Entropy sinh ra σ tỷ lệ với hiệu 2 dòng entropy trong và ngoài. Nói cách khác, ta có

$$\sigma = \frac{J}{T_\text{e}} - \frac{J}{T_\text{i}} = \kappa \frac{(T_\text{i} - T_\text{e})^2}{T_\text{i} T_\text{e}} . \tag{121}$$

Nên chú ý rằng ta đã giả sử trong khi tính toán là mọi vật trong mỗi lát cắt song song với tường đều ở trạng thái gần cân bằng, một giả thiết hợp lý trong đời sống thông thường.

Một bức tường tốt điển hình có $\kappa = 1\,\mathrm{W/m^2K}$ trong khoảng nhiệt độ từ 273 K đến 293 K. Với giá trị này ta kiếm được entropy sinh ra là

$$\sigma = 5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{W/(m^2K)}\ . \qquad (122)$$

Câu đố 655 ny Bạn có thể so sánh lượng entropy được sinh ra trong dòng với lượng entropy được vận chuyển không? Để so sánh, ta biết một cái chăn lông ngỗng có $\kappa = 1.5\,\mathrm{W/(m^2K)}$, mà trong các cửa hàng người ta gọi là 15 tog.*

Năng suất cách nhiệt của vật liệu thường được đo bằng hằng số $\lambda = \kappa d$ độc lập với độ dày d của lớp cách nhiệt. Phạm vi các giá trị trong thiên nhiên đi từ 2000 W/(K m) đối với kim cương, là vật dẫn tốt nhất, xuống tới giữa 0.1 W/(K m) và 0.2 W/(K m) đối với gỗ, giữa 0.015 W/(K m) và 0.05 W/(K m) đối với len, liège và mút và $5 \cdot 10^{-3}$ W/(K m) đối với khí krypton.

Entropy có thể được vận chuyển bằng 3 cách: *sự dẫn nhiệt* như vừa đề cập, *sự đối lưu* dùng để sưởi ấm nhà và *sự bức xạ* có thể truyền qua chân không. Thí dụ như Trái đất bức xạ khoảng 1.2 $\mathrm{W/(m^2K)}$ vào không gian, tổng cộng khoảng 0.51 PW/K. Entropy mà Trái đất nhận từ Mặt trời (gần) bằng entropy này. Nếu entropy được bức xạ lớn hơn lượng nhận vào, nhiệt độ bề mặt Trái đất phải tăng lên. Đây là *hiệu ứng nhà kính* hay *sự nóng lên toàn cầu*. Chúng ta hy vọng là nó vẫn còn ít trong những ngày sắp tới.

Có hệ cô lập không?

Trong tất cả các điều ta bàn luận từ trước tới nay, ta đã giả sử rằng ta có thể phân biệt hệ đang xét với môi trường chung quanh nó. Nhưng những hệ *cô lập* hay *kín*, tức là những hệ không tương tác với môi trường, có thực sự hiện hữu không? Có lẽ hoàn cảnh riêng của loài người chúng ta là mô hình nguyên thuỷ của khái niệm này: chúng ta đã có kinh nghiệm về khả năng hoạt động độc lập với môi trường. Một hệ cô lập có thể định nghĩa một cách đơn giản là hệ không trao đổi năng lượng hay vật chất với môi trường của nó. Trong nhiều thế kỷ, các khoa học gia đã nhận thấy là không có lý do gì để thắc mắc về định nghĩa này.

Khái niệm hệ cô lập phải được tinh chỉnh ít nhiều khi Cơ học lượng tử ra đời. Tuy nhiên khái niệm này cũng cung cấp cho ta một sự mô tả thiên nhiên hữu dụng và chính xác trong lĩnh vực lượng tử, với một số điều chú ý. Chỉ trong phần cuối của cuộc hành trình thì sẽ có sự thay đổi mạnh mẽ. Đó là việc nghiên cứu xem vũ trụ có là một hệ cô
Câu đố 656 s lập hay không sẽ dẫn tới những kết quả đáng kinh ngạc. (Còn bạn nghĩ sao? Một gợi ý kỳ cục: câu trả lời của bạn gần như chắc chắn sai.) Ta sẽ bắt đầu trả lời câu hỏi này sau đây.

Các câu đố vui và lạ về về tính thuận nghịch và nhiệt

Chạy lùi là một môn thể thao thú vị. Ta có thể tìm thấy các kỷ lục thế giới năm 2006 về chạy lùi ở trang www.recordholders.org/en/list/backwards-running.html. Bạn sẽ ngạc
Câu đố 657 e nhiên khi thấy các kỷ lục này nhanh hơn thời gian chạy *tới* tốt nhất của bạn.

* Đơn vị tog (thật tình) không tệ như đơn vị chính thức BthU · h/sqft/cm/°F được dùng trong một số tỉnh xa xôi trong thiên hà của chúng ta.

* *

Xem 312
Năm 1912, Emile Borel nhận thấy rằng nếu 1 g vật chất của sao Sirius dời đi 1 cm, nó chỉ làm thay đổi trọng trường trên Trái đất một lượng rất nhỏ. Nhưng sự thay đổi nhỏ này đủ làm cho ta không thể tính được đường đi của các phân tử trong một chất khí sau một phần của 1 s.

* *

Nếu nhiệt thực sự là chuyển động hỗn loạn của các nguyên tử, một vấn đề lớn được đặt ra. Khi 2 nguyên tử va chạm trực diện, vào lúc gần nhau nhất, không nguyên tử nào có vận tốc. Như vậy động năng đi đâu? Dĩ nhiên là nó được biến đổi thành thế năng. Nhưng điều này hàm ý rằng các nguyên tử có thể bị biến dạng, tức chúng có cấu trúc nội tại, có nhiều thành phần, và theo nguyên tắc chúng có thể vỡ ra. Tóm lại, nếu nhiệt là chuyển động hỗn loạn của nguyên tử, *các nguyên tử có thể phân chia được*! Trong thế kỷ 19 lập luận này đã được đưa ra để chứng minh rằng nhiệt không thể là chuyển động của nguyên tử mà phải là một loại chất lỏng nào đó. Nhưng vì ta đã biết rằng nhiệt thực sự là động năng, nên *nguyên tử phải có tính phân chia được*, mặc dù tên của chúng có nghĩa là 'không thể phân chia được'. Ta không cần một thí nghiệm đắt tiền để chứng minh điều này! Ta sẽ khám phá thêm nhiều điều về chúng trong cuộc thám hiểm của chúng ta.

Quyển IV, trang 80

* *

Việc nén không khí sẽ làm cho nhiệt độ của nó tăng lên. Điều này được chứng minh trực tiếp bằng một cái bơm lửa, một biến thể của bơm xe đạp như trong Hình 281. (Để có một thí dụ sống động, hãy xem webpage www.de-monstrare.nl). Một đầu que diêm ở đáy một cái bơm không khí làm bằng vật liệu trong suốt sẽ bốc cháy dễ dàng bằng cách nén không khí bên trên nó. Nhiệt độ không khí sau khi nén sẽ cao đến nỗi diêm sẽ tự bốc cháy.

* *

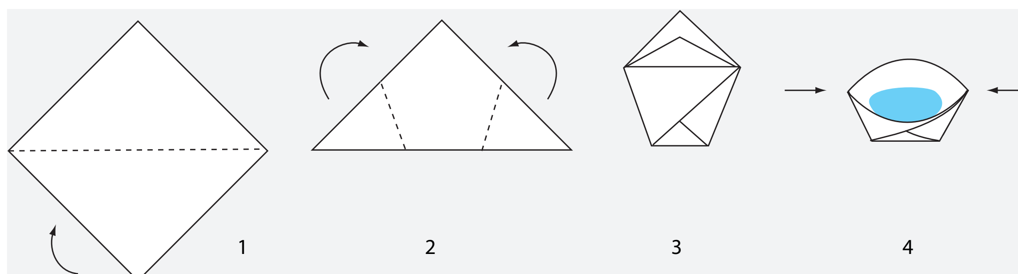
Vào mùa hè, ta có thể đo được nhiệt độ không khí một cách dễ dàng bằng một cái đồng hồ. Thật vậy, nhịp độ gáy của dế phụ thuộc vào nhiệt độ. Thí dụ như đối với một loài dế
Xem 310
thường gặp ở Mỹ, bằng cách đếm số lần gáy trong 8s rồi cộng cho 4 sẽ cho ta kết quả là nhiệt độ không khí tính bằng độ Celsius.

* *

Luộc một cái trứng mất bao lâu? Vấn đề này đã được nghiên cứu rất kỹ; dĩ nhiên là thời gian phụ thuộc vào loại trứng, kích thước trứng và nó có được lấy ra từ tủ lạnh hay
Xem 311
không. Có cả công thức tính thời gian luộc! Lòng trắng trứng bắt đầu cứng ở 62°C, lòng đỏ thì 65°C. Trứng vừa miệng nhất được luộc ở 69°C, cứng phân nửa ở 65°C, và mềm thì 63°C. Nếu bạn luộc trứng ở 100°C (trong thời gian dài), lòng trắng sẽ như cao su và lòng đỏ có bề mặt màu xanh lục toả ra mùi khó chịu, vì nhiệt độ cao sẽ dẫn tới việc tạo ra H_2S có mùi khó chịu, kết hợp với sắt tạo thành FeS màu lục. Cần chú ý là khi nhiệt độ được kiểm soát thì thời gian không ảnh hưởng gì; 'luộc' trứng ở 65°C trong 10 phút hay 10 giờ đều cho kết quả *như nhau*.

* *

Có thể luộc trứng sao cho lòng trắng thì cứng nhưng lòng đỏ vẫn còn lỏng. Bạn có thể



HÌNH 283 Bạn có thể đun sôi nước trong một cái tách giấy không?

Câu đố 658 s
Câu đố 659 e
làm ngược lại không? Các nghiên cứu còn chỉ ra cách luộc trứng sao cho lòng đỏ nằm ở trung tâm. Bạn có thể hình dung ra phương pháp không?

* *

Câu đố 660 s
Không chỉ có chất khí mà phần lớn các vật liệu khác đều giãn ra khi nhiệt độ tăng lên. Kết quả là dây dẫn trên các cột điện trong mùa hè sẽ chùng hơn trong mùa đông. Có đúng như vậy không?

* *

Xem 313
Câu đố 661 ny
Sau đây là một bài toán nổi tiếng của Fermi. Giả sử cơ thể người lạnh đi trong 4 giờ sau khi qua đời, số calory tối thiểu cần cho mỗi ngày trong thực phẩm của chúng ta là bao nhiêu?

* *

Câu đố 662 e
Năng lượng trong chuyển động nhiệt không thể bỏ qua. Thí dụ như một viên đạn 1 g bay với tốc độ âm thanh chỉ có động năng là 0.04 kJ= 0.01 kcal. Nhiệt năng của nó là bao nhiêu?

* *

Câu đố 663 s
Một khí cầu không khí nóng 1500 m^3 hoạt động như thế nào?

* *

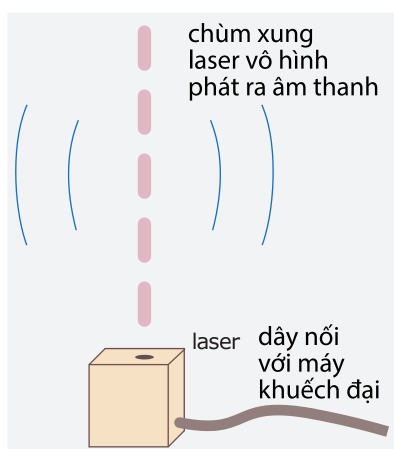
Câu đố 664 s
Nếu bạn không thích đề tài này thì đây là một đề nghị. Bạn có thể dùng giấy để làm một cái tách, như trong Hình 283 và đun sôi nước trong tách trên một ngọn lửa. Tuy vậy, để thành công bạn phải cẩn thận một chút. Bạn có tìm ra cách làm không?

* *

Câu đố 665 s
Trộn lẫn 1 kg nước ở 0°C và 1 kg nước ở 100°C ta được 2 kg nước ở 50°C. Kết quả của việc trộn 1 kg *nước đá* ở 0°C và 1 kg nước ở 100°C là gì?

* *

Nhiệt độ có nhiều tác dụng. Trong những năm qua, Tổ chức y tế thế giới đã thấy rằng uống chất lỏng nóng hơn 65°C – kể cả cà phê, chocolate hay trà – sẽ gây ra ung thư thực quản, bất kể loại chất lỏng.



HÌNH 284 Loa vô hình.

* *

Xem 314 Kỷ lục về nhiệt độ không khí cao nhất mà một người ở trong đó còn sống là 127°C. Điều này đã được thử nghiệm năm 1775 ở London, bởi thư ký của Hội hoàng gia, Charles Blagden, cùng với vài người bạn, đã ở trong một căn phòng ở nhiệt độ đó trong 45 phút. Điều thú vị là miếng thịt bò sống mà ông mang theo đã được 'nấu chín' khi ông và các bạn rời căn phòng. Điều kiện nào phải được thoả mãn một cách nghiêm ngặt để ngăn việc nấu chín người giống như miếng thịt bò đó? Câu đố 666 s

* *

Hằng số Boltzmann k có thực sự là giá trị khả hữu nhỏ nhất của entropy trong thiên nhiên không? Như vậy làm thế nào để entropy cho mỗi hạt Krypton có giá trị $0.3k$/hạt? Câu trả lời cho nghịch lý này là một hạt tự do đơn lẻ có nhiều entropy, đúng ra là lớn hơn k, hơn một hạt liên kết. Giới hạn entropy k chỉ đúng với một hệ vật lý, như toàn bộ một tinh thể, chứ không đúng đối với entropy của từng hạt như là một phần của một hệ liên kết.

* *

Thiên văn gia nổi tiếng Anders Celsius (b. 1701 Uppsala, d. 1744 Uppsala) ban đầu đã đặt điểm đông đặc của nước ở 100 độ và điểm sôi ở 0 độ. Sau đó ít lâu, thang đo này đã được Xem 315 đảo ngược thành thang đo hiện tại. Tuy vậy, đây không phải là toàn bộ câu chuyện. Với định nghĩa chính thức của kelvin và độ Celsius, ở áp suất tiêu chuẩn 101 325 Pa, nước sôi ở 99.974°C. Bạn có thể giải thích tại sao không là 100°C nữa? Câu đố 667 s

* *

Bạn có thể đổ vào chai một lượng nước chính xác là 1 ± 10^{-30} kg không? Câu đố 668 s

* *

1 g mỡ, dù là bơ hay mỡ người, đều chứa 38 kJ hoá năng (hay tính bằng đơn vị cũ quen thuộc với chuyên gia dinh dưỡng là 9 kcal). Xăng dầu cũng có giá trị như vậy. Tại sao người và bơ ít nguy hiểm hơn xăng dầu? Câu đố 669 s

* *

Năm 1992, vật lý gia Hoà Lan Martin van der Mark đã phát minh một cái loa hoạt động bằng cách đốt nóng không khí với một chùm tia laser. Ông đã chứng minh rằng với bước sóng và sự biến điệu cường độ thích hợp, chùm laser trong không khí có thể tạo ra âm thanh. Hiệu ứng làm nền tảng cho thiết bị này được gọi là *hiệu ứng quang âm*, xuất hiện trong nhiều vật liệu. Bước sóng laser tốt nhất cho không khí là trong miền hồng ngoại, ở một trong các vạch hấp thu của hơi nước. Nói cách khác, một chùm laser hồng ngoại được biến điệu thích hợp, chiếu qua không khí sẽ tạo ra âm thanh. Chùm ánh sáng đó có thể được phát ra từ một laser bán dẫn nhỏ như hộp quẹt được giấu trên trần nhà chiếu xuống. Âm thanh được phát ra theo mọi hướng vuông góc với chùm tia. Vì ánh sáng của laser hồng ngoại (thường) không nhìn thấy được nên Martin van der Mark xem như đã phát minh ra một cái loa vô hình! Điều không may là hiệu suất của phiên bản hiện có còn thấp nên loa chưa được áp dụng trong thực tế. Sự tiến bộ trong công nghệ laser sẽ làm cho điều này thay đổi và trong tương lai ta sẽ có thể nghe âm thanh được phát ra từ giữa một căn phòng trống trải khác.

* *

Câu đố 670 s

Một đề thi nổi tiếng: làm cách nào để đo chiều cao của một cao ốc bằng một khí áp kế, một dây thừng và một cái thước? Tìm ít nhất 6 lời giải.

* *

Câu đố 671 s

Xác suất gần đúng để trong 1 triệu lần tung đồng xu, bạn kiếm được đúng 500 000 lần ngửa là bao nhiêu? Bạn có thể sử dụng công thức Stirling $n! \approx \sqrt{2\pi n}(n/e)^n$ để tìm kết quả. *

* *

Câu đố 672 s

Nói về entropy của vũ trụ có hợp lý không?

* *

Câu đố 673 ny

Một khí cầu helium có thể nhấc một bồn chứa đầy chất đó lên hay không?

* *

Mọi quá trình có ma sát, như sự thẩm thấu, sự khuếch tán, sự hoá hơi, hay sự phân rã, đều *chậm*. Chúng có một thời gian đặc trưng. Hoá ra một quá trình (vĩ mô) bất kỳ với một thang thời gian thì không thuận nghịch. Điều này không lạ: ta đã biết theo trực giác là hoàn tác một việc luôn luôn mất nhiều thời gian hơn là làm việc đó. Đó lại là Nguyên lý 2 của Nhiệt động lực học.

* *

Xem 316

Hoá ra ta có thể *lưu trữ* thông tin mà sự sinh ra entropy không đáng kể. Tuy vậy, *việc xoá* thông tin thì cần entropy. Đây là lý do chính tại sao máy tính, cũng như não bộ, cần nguồn năng lượng để làm mát hệ thống, mặc dù hoạt động của chúng lẽ ra không cần chút năng lượng nào.

* Có nhiều dạng cải tiến của công thức Stirling. Dạng đơn giản là công thức Gosper $n! \approx \sqrt{(2n+1/3)\pi}(n/e)^n$. Một dạng khác là $\sqrt{2\pi n}(n/e)^n e^{1/(12n+1)} < n! < \sqrt{2\pi n}(n/e)^n e^{1/(12n)}$.

* *

Câu đố 674 ny Khi pha rượu rum nóng với nước lạnh, sự gia tăng entropy do sự pha trộn so với sự gia tăng entropy do biến thiên nhiệt độ sẽ như thế nào?

* *

Câu đố 675 s Tại sao không có những người nhỏ bé, thí dụ như có kích thước 10 mm, như trong các truyện thần tiên? Đúng ra không có động vật máu nóng nào có kích thước như vậy. Tại sao?

* *

Chiếu sáng một vật và luân phiên tắt mở ánh sáng sẽ tạo ra âm thanh. Đây là *hiệu ứng quang âm*, bắt nguồn từ sự giãn nở nhiệt của vật liệu. Bằng cách thay đổi tần số ánh sáng và đo cường độ tiếng ồn, ta sẽ phát hiện một phổ quang âm đặc trưng cho vật liệu. Phương pháp này cho phép ta phát hiện mật độ khí trong không khí chính xác đến $1/10^9$. Nó đã được sử dụng để nghiên cứu các chất khí do cây cối phát ra. Thực vật phát ra methane, rượu và acetaldehyde với một lượng nhỏ; hiệu ứng quang âm có thể phát hiện các khí này và giúp ta tìm hiểu các quá trình đứng sau sự phát xạ của chúng.

* *

Câu đố 676 ny Xác suất gần đúng để tất cả các phân tử oxygen trong không khí bay khỏi một đô thị đã cho trong vài phút, đồng thời hạ gục mọi cư dân ở đó, là bao nhiêu?

* *

Câu đố 677 ny Nếu bạn đổ 1 lít nước vào biển, khuấy đều các đại dương rồi lấy ra 1 lít hỗn hợp, bạn sẽ tìm thấy bao nhiêu nguyên tử ban đầu?

* *

Câu đố 678 s Bạn có thể hít thở được bao lâu trong một căn phòng kín?

* *

Sự mất nhiệt là một vấn đề càng lớn nếu vật càng nhỏ vì tỷ số bề mặt/thể tích tăng lên khi kích thước giảm đi. Kết quả là các động vật nhỏ được tìm thấy ở nơi có khí hậu nóng còn động vật lớn được tìm thấy ở nơi có khí hậu lạnh. Điều này đúng với gấu, chim, thỏ, côn trùng và nhiều họ động vật khác. Cũng vì lý do này, sinh vật nhỏ cần nhiều thực phẩm cho 1 ngày, khi tính theo trọng lượng cơ thể, trong khi động vật lớn cần ít thực phẩm hơn.

* *

Câu đố 679 s Điều gì sẽ xảy ra nếu bạn cho một ít tro lên một miếng đường rồi châm lửa? (Cảnh báo: việc này nguy hiểm và không dành cho trẻ em.)

* *

Việc tính entropy thường gây ra ngạc nhiên. Đối với một hệ N hạt, mỗi hạt có 2 trạng thái, thì sẽ có $W_{all} = 2^N$ trạng thái. Đối với cấu hình khả dĩ nhất, có đúng nửa số hạt trong một trạng thái và nửa kia trong trạng thái còn lại, ta có $W_{max} = N!/((N/2)!)^2$. Bây giờ đối với một hệ vĩ mô các hạt, ta có thể có $N = 10^{24}$. Điều đó cho kết quả $W_{all} \gg W_{max}$;

thật vậy, cái trước lớn hơn cái sau 10^{12} lần. Mặt khác, ta nhận thấy rằng ln W_{all} và ln W_{max} giống nhau tới 20 chữ số đầu tiên! Mặc dù cấu hình có đúng phân nửa số hạt trong mỗi trạng thái thì rất hiếm so với trường hợp tổng quát, nơi tỷ số được phép thay đổi, hoá ra entropy lại giống nhau. Tại sao?

Câu đố 680 ny

Câu đố 681 ny

* *

Nếu nhiệt bắt nguồn từ chuyển động của nguyên tử, xúc giác của chúng ta về nóng và lạnh chỉ đơn giản là các máy phát hiện chuyển động. Chúng hoạt động như thế nào?

Câu đố 682 ny

Ngoài ra, khứu giác và vị giác cũng có thể được xem như các máy phát hiện chuyển động vì chúng báo hiệu sự hiện diện của phân tử bay lòng vòng trong không khí hay chất lỏng. Bạn có đồng ý như vậy không?

Câu đố 683 e

* *

Mặt trăng có khí quyển, mặc dù cực kỳ mỏng, bao gồm sodium (Na) và potassium (K). Người ta đã phát hiện khí quyển này dày bằng 9 lần bán kính của Mặt trăng. Khí quyển Mặt trăng được tia tử ngoại từ Mặt trời tạo ra trên bề mặt của nó. Bạn có thể ước tính mật độ của nó không?

Câu đố 684 s

* *

Việc thêm 1 dòng vào Bảng 43 cho đại lượng tác dụng vật lý thì có ý nghĩa gì không? Nếu thêm 1 cột? Tại sao?

Câu đố 685 ny

* *

Sự khuếch tán cung cấp cho ta một thang chiều dài. Thí dụ như, côn trùng thu nhận oxygen qua da của chúng. Kết quả là, những bộ phận bên trong cơ thể của chúng không thể cách xa bề mặt hơn khoảng 1 cm. Bạn có thể liệt kê một số thang chiều dài khác trong thiên nhiên xuất phát từ các quá trình khuếch tán không?

Câu đố 686 s

* *

Không khí ấm bốc lên cao là lý do tại sao nhiều côn trùng được tìm thấy trong các đám mây trên cao vào buổi chiều. Nhiều côn trùng, đặc biệt là loài sống bằng máu động vật, bị hút vào các luồng khí nóng và ẩm.

* *

Nhiệt kế thuỷ ngân có thể đo được đến 750°C. Làm thế nào để việc này xảy ra được nếu thuỷ ngân sôi ở 357°C?

Câu đố 687 s

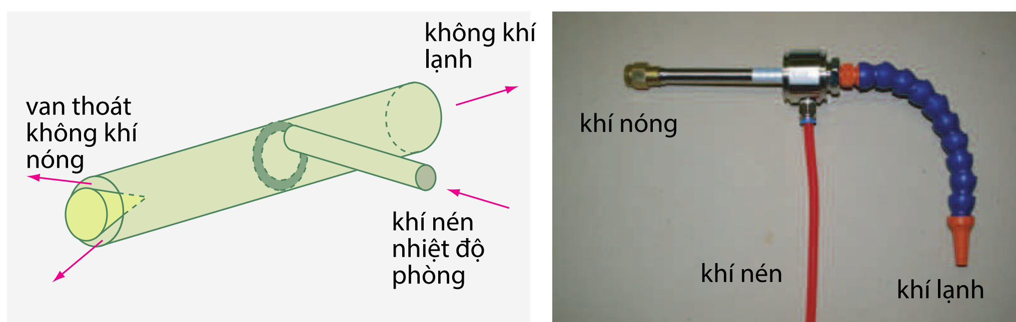
* *

Câu đố 688 s

Ngọn nến sẽ trông như thế nào trong tình trạng không trọng lượng?

* *

Ta có thể xây dựng một nhà máy phát điện bằng cách xây dựng một ống khói lớn, sao cho không khí khi bị Mặt trời đốt nóng sẽ chảy theo ống đi lên, làm quay một turbine. Ta cũng có thể xây dựng một ống dài thẳng đứng và để cho chất khí như ammonia đi lên trong ống, hoá lỏng ở đỉnh ống nơi thượng tầng không khí có nhiệt độ thấp; khi nó chảy xuống một ống thứ hai – giống như mưa – nó sẽ làm quay một turbine. Tại sao những



HÌNH 285 Thiết kế của Wirbelrohr hay ống xoáy Ranque–Hilsch và một phiên bản thương mại, kích thước khoảng 40 cm, được sử dụng để làm mát các quá trình sản xuất (© Coolquip).

Câu đố 689 s kế hoạch, hoàn toàn không ô nhiễm như thế chưa được sử dụng?

* *

Một trong những thiết bị phi thường nhất đã từng được phát minh là *Wirbelrohr* hay ống xoáy Ranque–Hilsch. Bằng cách thổi khí nén ở nhiệt độ phòng vào trung điểm của nó, sẽ có 2 luồng khí được tạo ra ở 2 đầu. Một cực kỳ lạnh, tới mức −50°C, và một cực kỳ nóng, lên tới 200°C. Bên trong nó không có bộ phận chuyển động và không có các
Câu đố 690 s thiết bị nung nóng. Nó đã hoạt động như thế nào?

* *

Động cơ nhiệt âm, bơm và tủ lạnh là các ứng dụng kỳ lạ và hấp dẫn của nhiệt. Thí dụ như ta có thể sử dụng âm thanh to trong các buồng kim loại kín để chuyển nhiệt từ nơi lạnh sang nơi nóng. Những thiết bị như vậy có một số bộ phận chuyển động và đang
Xem 317 được nghiên cứu với hy vọng tìm ra các ứng dụng thực tiễn trong tương lai.

* *

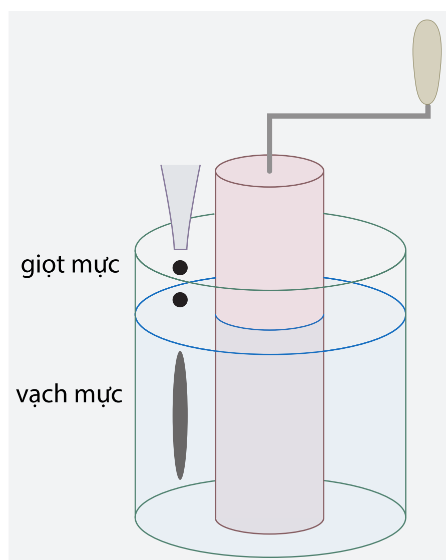
Câu đố 691 s Hệ ít hạt kín có mâu thuẫn với Nguyên lý 2 không?

* *

Điều gì xảy ra cho entropy khi ta tính đến lực hấp dẫn? Ta đã thận trọng đặt lực hấp dẫn ra ngoài sự bàn luận. Đúng ra lực hấp dẫn đã dẫn tới nhiều vấn đề mới – bạn hãy thử suy nghĩ về các vấn đề này. Jacob Bekenstein đã khám phá ra rằng vật chất đạt tới entropy khả hữu lớn nhất của nó khi nó tạo thành một hố đen. Bạn có thể chứng minh điều này
Câu đố 692 s không?

* *

Giá trị bằng số – nhưng không có đơn vị! – của hằng số Boltzmann $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K và tổ hợp $h/(ce)$ – trong đó h là hằng số Planck, c là tốc độ ánh sáng và e là điện tích của electron – giống nhau về luỹ thừa và 3 chữ số đầu tiên của chúng, trong đó h là hằng số
Câu đố 693 s Planck và e là điện tích electron. Làm thế nào để bạn gạt bỏ điều này, xem nó như là sự trùng hợp?



HÌNH 286 Điều gì sẽ xảy ra cho vạch mực nếu hình trụ trong được quay vài vòng theo một hướng rồi quay ngược lại với cùng số vòng?

* *

Câu đố 694 s Pha trộn không phải lúc nào cũng dễ làm. Thí nghiệm với nước và với glycerine trong Hình 286 cho ta một kết quả khác hoàn toàn. Bạn có thể đoán được kết quả không?

* *

Câu đố 695 s Làm cách nào để loại bỏ chewing gum trong quần áo?

* *

Câu đố 696 ny Với giả thuyết không khí gồm các phân tử, Maxwell đã tính được "mỗi hạt thực hiện 8 077 200 000 va chạm/s". Làm cách nào để ông tính được như vậy?

* *

Câu đố 697 e Một động cơ vĩnh cửu 'loại 2' là một máy biến đổi nhiệt thành chuyển động mà không sử dụng một nguồn lạnh thứ 2. Entropy thì cho kết quả là không có động cơ như vậy. Bạn chứng minh điều này được không?

* *

Câu đố 698 ny Có những lập luận chứng minh sự hiện hữu của nguyên tử ít được biết tới. Đúng ra có hai hiện tượng thông thường có thể chứng minh được sự hiện hữu của nguyên tử: sự sinh sản và ký ức. Tại sao?

* *

Câu đố 699 s Trong ngữ cảnh của laser và hệ spin, thì nói về nhiệt độ âm (-) cũng khá thú vị. Tại sao điều này thực ra không dễ cảm nhận được?

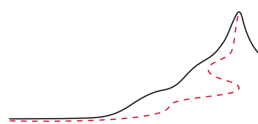
Tóm tắt về nhiệt và sự bất biến thời gian

Chuyển động vi mô bắt nguồn từ lực hấp dẫn và tương tác điện nên mọi chuyển động vi mô trong đời sống thông thường đều *có tính thuận nghịch*: chuyển động như vậy có thể xảy ra theo chiều ngược lại theo thời gian. Nói cách khác, chuyển động bắt nguồn từ sự hấp dẫn và các hiện tượng điện từ có tính *đối xứng qua phép đảo chiều chuyển động* hay như người ta thường phát biểu không đúng là 'dưới sự đảo ngược thời gian'.

Tuy nhiên, chuyển động thông thường thì *bất thuận nghịch* vì không có các hệ kín hoàn toàn trong thực tế. Sự không kín dẫn tới sự thăng giáng; thăng giáng dẫn tới ma sát. Nói cách khác, tính bất thuận nghịch là kết quả của xác suất cực thấp của sự đảo chiều chuyển động trong các hệ nhiều hạt. Tính bất thuận nghịch vĩ mô không mâu thuẫn với tính thuận nghịch vi mô.

Vì những lý do này, trong đời sống thông thường, entropy trong các hệ kín không bao giờ giảm. Điều này kéo theo một vấn đề nổi tiếng khác: làm cách nào để sự tiến hoá sinh học có thể hoà hợp với sự gia tăng của lực hấp dẫn? Chúng ta hãy xem qua vấn đề này.





CHƯƠNG 14

SỰ TỰ TỔ CHỨC VÀ SỰ HỖN ĐỘN – TÍNH ĐƠN GIẢN CỦA SỰ PHỨC TẠP

> “Nói về Vật lý phi tuyến cũng giống như gọi Động vật học là sự nghiên cứu về những động vật không phải là loài voi.”
>
> Stanislaw Ulam

Xem 318

Trang 242

Xem 319

Câu đố 700 s

Trong danh sách mô tả chuyển động tổng quát của chúng ta, việc nghiên cứu sự tự tổ chức là đỉnh điểm. Tự tổ chức là sự xuất hiện của trật tự. Trong Vật lý, *trật tự* là một thuật ngữ bao gồm *hình dạng*, như sự đối xứng phức tạp của bông tuyết; *kiểu thức*, như các vạch của ngựa vằn và các gợn sóng trên cát; và *chu trình*, như sự tạo ra âm thanh khi ca hát. Khi nhìn quanh, ta nhận thấy rằng mọi cái mà ta gọi là *vẻ đẹp* đều là sự tổ hợp của hình dạng, kiểu thức và chu trình. (Bạn có đồng ý như vậy không?) Như vậy ta có thể gọi sự tự tổ chức là sự nghiên cứu về nguồn gốc của vẻ đẹp. Bảng 50 cho ta thấy mức độ xuất hiện của trật tự đã định hình môi trường của chúng ta như thế nào.

BẢNG 50 Một số nhịp điệu, kiểu thức và hình dạng quan sát được trong thiên nhiên.

Đối tượng quan sát	‘Lực’ dẫn động	‘Lực’ hồi phục	Kích cỡ
Vân tay	phản ứng hoá học	sự khuếch tán	0.1 mm
Nhịp đồng hồ	vật nặng rơi	ma sát	1 s
Tiếng rít của phấn do sự không ổn định của hiện tượng trượt nhảy	chuyển động	ma sát	600 Hz
Sự tạo ra nốt nhạc trong vĩ cầm	chuyển động của cái vĩ	ma sát	600 Hz
Sự tạo ra nốt nhạc trong sáo	dòng không khí	cuộn xoáy	400 Hz
Dao động ngang của xe lửa đối với đường ray	chuyển động	ma sát	0.3 Hz
Cấu trúc dòng trong thác nước và vòi phun	dòng nước	cuộn xoáy	10 cm
Sự giật cục khi lấy băng dính	tốc độ kéo	ma sát dính	0.1 Hz
Sự dao động của bán kính trong việc sản xuất spaghetti và sợi polymer	tốc độ ép	ma sát	10 cm

BẢNG 50 (Tiếp theo) Một số nhịp điệu, kiểu thức và hình dạng quan sát được trong thiên nhiên.

Đối tượng quan sát	'Lực' dẫn động	'Lực' hồi phục	Kích cỡ
Kiểu thức trên các đĩa và lá kim loại bị uốn cong	sự biến dạng	độ cứng	phụ thuộc chiều dày
Sự phấp phới của lá cờ trong gió đều đặn	dòng không khí	độ cứng	20 cm
Sự nhỏ giọt của vòi nước	dòng nước	sức căng mặt ngoài	1 Hz
Tính không đều của dòng bọt từ một ly bia	áp suất khí hoà tan	sức căng mặt ngoài	0.1 Hz, 1 mm
Tính không ổn định Raleigh–Bénard	gradient nhiệt độ	sự khuếch tán	0.1 Hz, 1 mm
Dòng Couette–Taylor	gradient tốc độ	ma sát	0.1 Hz, 1 mm
Dòng Bénard–Marangoni, sự tạo ra sóng biển	sức căng mặt ngoài	độ nhớt	0.1 Hz, 1 mm
Đường rẽ nước Karman, điểm Emmon, dòng Osborne Reynolds	động lượng	độ nhớt	từ mm tới km
Tiếng nổ đều đặn trong ống thoát khí của xe hơi	dòng	cộng hưởng áp suất	0.3 Hz
Sự bố trí cân đối của mây	dòng	sự khuếch tán	0.5 km
El Niño	dòng	sự khuếch tán	5 tới 7 năm
Những cung rượu vang trên thành ly	sức căng mặt ngoài	sự pha trộn 2 thành phần	0.1 Hz, 1 mm
Bề mặt của thiết từ thuỷ trong từ trường	từ năng	trọng lực	3 mm
Kiểu thức trong tinh thể lỏng	điện năng	ứng suất	1 mm, 3 s
Sự nhấp nháy của ánh đèn huỳnh quang cũ	dòng electron	sự khuếch tán	1 Hz
Sự không ổn định của bề mặt mối hàn	dòng electron	sự khuếch tán	1 cm
Sự không ổn định của plasma Tokamak	dòng electron	sự khuếch tán	10 s
Sự tạo thành bông tuyết và các quá trình tăng trưởng theo dạng nhánh cây	Gradient nồng độ	khuếch tán bề mặt	10 μm
Kiểu thức mặt phân cách trong sự hoá rắn, thí dụ như trong CBr_4	dòng entropy	sức căng mặt ngoài	1 mm
Các lớp tuần hoàn trong sự ăn mòn kim loại	gradient nồng độ	sự khuếch tán	10 μm
Tôi thép bằng cách gia công nguội	độ biến dạng	sự chuyển động của chỗ lệch mạng	5 μm

BẢNG 50 (Tiếp theo) Một số nhịp điệu, kiểu thức và hình dạng quan sát được trong thiên nhiên.

Đối tượng quan sát	'Lực' dẫn động	'Lực' hồi phục	Kích cỡ
Cấu trúc mê lộ trong kim loại được chiếu xạ bằng proton	dòng hạt	sự chuyển động của chỗ lệch mạng	5 µm
Kiểu thức trong hợp kim Cd-Se được chiếu xạ bằng laser	sự chiếu xạ bằng laser	sự khuếch tán	50 µm
Kiểu thức lệch mạng và dao động mật độ trong đơn tinh thể đồng bị mỏi	độ biến dạng	sự chuyển động của chỗ lệch mạng	10 µm 100 s
Sự phát xạ ánh sáng Laser, chu kỳ và trạng thái hỗn độn của nó	sự bơm năng lượng	sự tổn hao ánh sáng	10 ps tới 1 ms
Kiểu thức quay do chiếu ánh sáng laser lên bề mặt của chất điện giải	quang năng	sự khuếch tán	1 mm
Kiểu thức và chu kỳ phản ứng Belousov-Zhabotinski	gradient nồng độ	sự khuếch tán	1 mm, 10 s
Sự nhấp nháy của ngọn nến	nhiệt và gradient nồng độ	khuếch tán nhiệt và vật chất	0.1 s
Chuỗi đều đặn nóng và lạnh trong sự đốt cháy carbohydrate	nhiệt và gradient nồng độ	khuếch tán nhiệt và vật chất	1 cm
Tiếng rít hồi tiếp từ microphone tới loa	máy khuếch đại	sự tổn hao điện	1 kHz
Bộ dao động điện tử trong máy thu thanh, television, máy tính, mobile phone, v.v...	nguồn điện	sự hao tổn do điện trở	1 kHz tới 30 GHz
Sự phun tuần hoàn của suối nước nóng	sự nung nóng dưới mặt đất	sự hoá hơi	10 min
Động đất tuần hoàn ở các phay	chuyển động kiến tạo	sự nứt gãy	1 Ms
Kiểu thức lục giác trong đá basalt	sự nung nóng	sự khuếch tán nhiệt	1 m
Kiểu thức lục giác trên đất khô	sự thay đổi nhiệt độ đều đặn	sự khuếch tán trong nước	0.5 m
Sự thay đổi tuần hoàn của cường độ sáng của sao Cepheid và các sao khác	sự dung hợp hạt nhân	sự phát xạ năng lượng	3 Ms
Các vùng đối lưu trên bề mặt Mặt trời	sự dung hợp hạt nhân	sự phát xạ năng lượng	1000 km

BẢNG 50 (Tiếp theo) Một số nhịp điệu, kiểu thức và hình dạng quan sát được trong thiên nhiên.

Đối tượng quan sát	'Lực' dẫn động	'Lực' hồi phục	Kích cỡ
Sự hình thành và dao động của từ trường Trái đất và các thiên thể khác	sự tách điện tích do đối lưu và ma sát	sự tổn hao do điện trở	100 ka
Sự gấp nếp, sự ép lún	sự biến dạng	độ cứng	1 mm
Kiểu thức lông thú	nồng độ hoá chất	sự khuếch tán	1 cm
Sự tăng trưởng của ngón tay và tứ chi	nồng độ hoá chất	sự khuếch tán	1 cm
Sự phá vỡ đối xứng trong sự phát triển phôi, như tim ở bên trái	có khả năng do tính thủ đối xứng phân tử cộng với nồng độ hoá chất	sự khuếch tán	1 m
Sự biệt hoá của tế bào và sự xuất hiện các cơ quan trong sự tăng trưởng	nồng độ hoá chất	sự khuếch tán	10 μm tới 30 m
Dao động con mồi - thú ăn thịt	sự sinh sản	sự đói	3 tới 17 a
Tư duy	sự phát xung thần kinh của neuron	sự tiêu tán nhiệt	1 ms, 100 μm

Sự xuất hiện của trật tự

Sự xuất hiện của trật tự là một hiện tượng thường thấy trong thiên nhiên. Đặc biệt, *lưu chất* là nơi phô bày nhiều hiện tượng có trật tự xuất hiện và biến mất. Thí dụ như sự nhấp nháy đều đặn ít hay nhiều của ngọn nến, sự phấp phới của lá cờ trong gió, dòng bọt đều đặn nổi lên từ những chỗ không đều nhỏ trên mặt một ly bia hay rượu vang và sự nhỏ giọt đều hoặc không đều của một vòi nước. Hình 251 cho ta thêm một số thí dụ và những hình trong chương này cũng vậy. Những thí dụ khác là sự xuất hiện của các đám mây và sự bố trí đều đặn của chúng trên bầu trời. Trong một chuyến bay buồn chán, việc suy nghĩ về cơ chế tạo thành hình dạng và kiểu thức của mây mà bạn nhìn thấy từ phi cơ cũng là một điều thú vị. Một đám mây thường có mật độ khối lượng từ 1 tới 5 g/m^3, nên một đám mây lớn có thể chứa nhiều ngàn tấn nước.

Trang 354

Câu đố 701 e

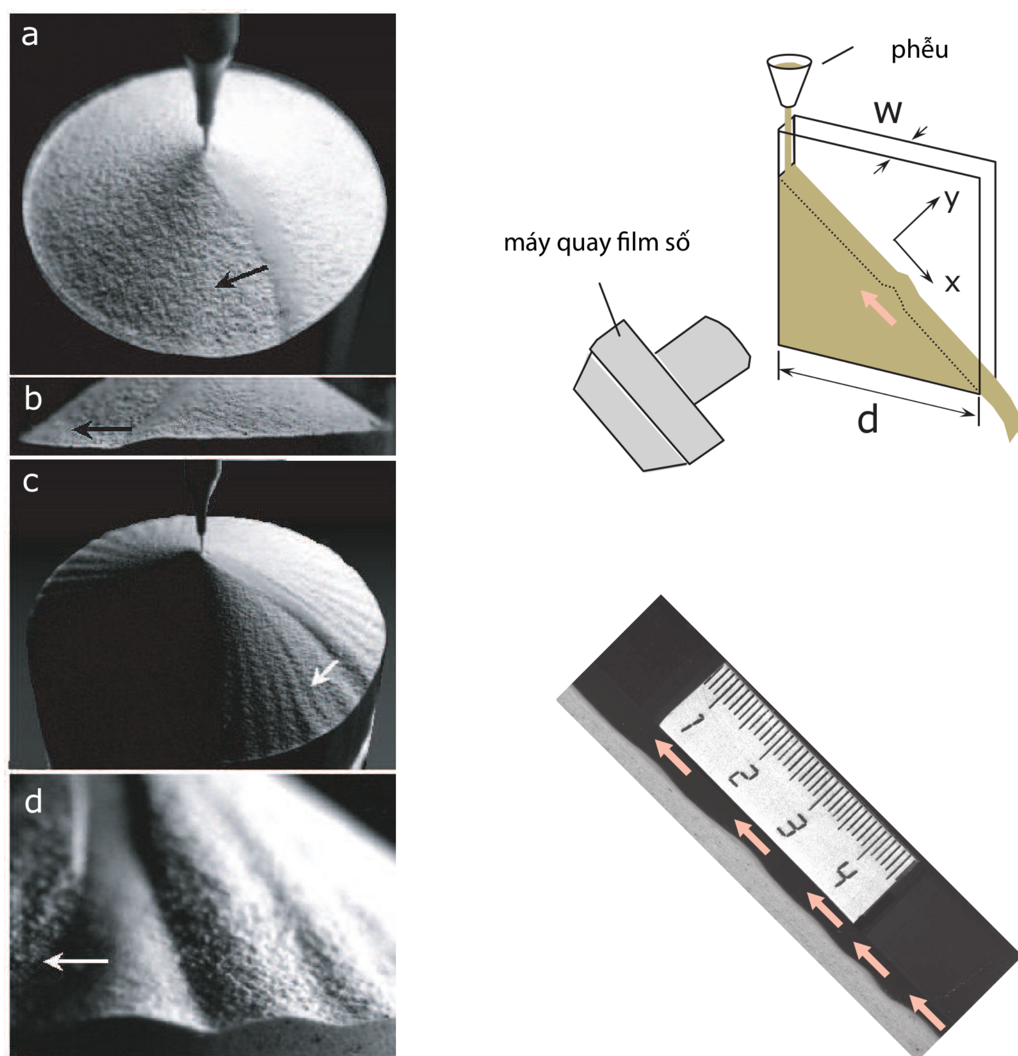
Các trường hợp khác của sự tự tổ chức trong cơ học là sự hình thành các rặng núi khi các lục địa di chuyển, sự tạo ra động đất hay sự tạo thành các nếp nhăn ở khoé mắt khi bạn cười.

Tất cả các quá trình *tăng trưởng* đều là hiện tượng tự tổ chức. Sự xuất hiện của trật tự cũng được tìm thấy trong sự biệt hoá tế bào của bào thai trong cơ thể phụ nữ; sự tạo thành các kiểu thức màu trên da cọp, cá nhiệt đới và bướm; sự bố trí đối xứng của các cánh hoa; sự hình thành các nhịp điệu sinh học; v.v...

Trang 47

Có khi nào bạn nghiền ngẫm về phương thức lạ thường của sự mọc răng hay không? Một sự kiến tạo bằng chất vô cơ thành những hình dạng nằm trong hai hàng trên và dưới khớp với nhau. Quá trình này được điều khiển như thế nào vẫn còn là một chủ đề nghiên cứu. Sự hình thành mạng thần kinh trong não, trước và sau khi sinh, cũng

Quyển III, trang 240



HÌNH 287 Các thí dụ về sự tự tổ chức của cát: sự xuất hiện tự phát của một chu kỳ theo thời gian (a và b), sự xuất hiện tự phát của một kiểu thức tuần hoàn (b và c), sự xuất hiện tự phát của một kiểu thức không-thời gian, cụ thể là các sóng cô lập (hình bên phải) (© Ernesto Altshuler et al.).

là một quá trình tự tổ chức khác. Ngay cả các quá trình vật lý làm nền tảng cho tư duy, liên quan đến sự thay đổi các tín hiệu điện, cũng được mô tả theo ngôn ngữ của sự tự tổ chức.

Sự tiến hoá sinh học là một trường hợp đặc biệt của sự tăng trưởng. Lấy trường hợp tiến hoá về hình dạng của động vật. Hoá ra lưỡi rắn chia 2 vì đó là hình dạng hiệu quả Xem 320 nhất cho việc theo dấu hoá chất do con mồi và các con rắn cùng loài để lại. (Rắn đánh Câu đố 702 e hơi bằng lưỡi.) Lưỡi của loài bò sát bay như thằn lằn bay sẽ cần có bao nhiêu đầu?

Xem 321 Số ngón tay cố định của bàn tay người cũng là hệ quả của sự tự tổ chức. Số cánh hoa có thể (hoặc không có thể) bắt nguồn từ sự tự tổ chức.

Quyển III, trang 297

BẢNG 51 Các kiểu thức và chu trình trên cát nằm ngang và trên các mặt giống như cát trong biển và trên đất liền.

Kiểu thức/chu trình	Chu kỳ	Biên độ	Nguồn gốc
Dưới nước			
Gợn sóng	5 cm	5 mm	sóng nước
Gợn sóng lớn	1 m	0.1 m	thuỷ triều
Sóng cát	100 tới 800 m	5 m	thuỷ triều
Bờ cát	2 tới 10 km	2 tới 20 m	thuỷ triều
Trong không khí			
Gợn sóng	0.1 m	0.05 m	gió
Cát hát	65 tới 110 Hz	lên tới 105 dB	gió trên cồn cát, sự sụt lở làm cồn cát dao động
Sự mấp mô trên mặt đường	0.3 tới 0.9 m	0.05 m	bánh xe
Những mô tuyết nhỏ trong môn trượt tuyết	5 tới 6 m	lên tới 1 m	người trượt tuyết
Khác			
Trên Hoả tinh	vài km	vài chục m	gió

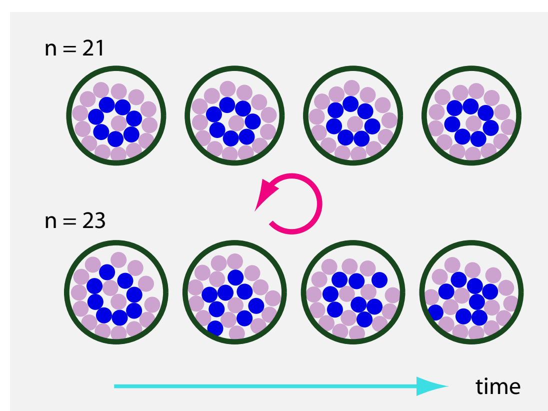


HÌNH 288 Sự mấp mô trên mặt đường (courtesy David Mays).

Việc nghiên cứu điều kiện cần thiết để cho trật tự xuất hiện hay không xuất hiện đã chứng tỏ rằng sự mô tả chúng chỉ cần vài khái niệm thông thường, độc lập với các hệ vật lý. Ta sẽ thấy rõ điều này khi xem xét một vài thí dụ đơn giản.



HÌNH 289 Oscillon được tạo ra bằng cách lắc các hạt bằng đồng; bề ngang khoảng 2 cm (© Paul Umbanhowar)



HÌNH 290 Những con số ma thuật: 21 hình cầu, khi được xoáy tròn trong một cái đĩa, sẽ hành xử khác những con số bình thường, thí dụ như 23 hình cầu (vẽ lại từ ảnh chụp © Karsten Kötter).

Sự tự tổ chức trong cát

Cái phong phú của sự tự tổ chức sẽ tự bộc lộ trong việc nghiên cứu cát. Tại sao những cồn cát có những gợn sóng như mặt đáy biển? Hiện tượng cát lở xảy ra như thế nào trên các đồi cát dốc? Cát hành xử như thế nào trong đồng hồ cát, trong máy trộn, hay trong các thùng chứa rung động? Kết quả thường làm cho ta ngạc nhiên.

Một tổng quan về hiện tượng tự tổ chức của cát được cho trong Bảng 51. Năm 2006, Xem 322 nhóm nghiên cứu Cuba của Ernesto Altshuler và cộng sự đã khám phá ra sóng cô lập trên các dòng cát (như trong Hình 287). Họ đã khám phá ra hiệu ứng dòng chảy xoay vòng trên các đống cát, được trình bày trong cùng một hình, vào năm 2002. Điều đáng ngạc nhiên hơn là những hiệu ứng này chỉ xảy ra đối với cát Cuba và vài loại cát hiếm hoi khác. Lý do của điều này vẫn chưa rõ ràng.

Xem 323 Tương tự như vậy, năm 1996 Paul Umbanhowar và cộng sự đã nhận thấy rằng khi một vật chứa phẳng giữ các hạt đồng tí hon (đường kính khoảng 0.165 mm) được xóc lên xuống trong chân không với tần số nào đó thì bề mặt của 'cát' đồng này tạo thành những đống ổn định. Ta có thể thấy chúng trong Hình 289. Những đống hạt nhỏ này, được gọi là *oscillon*, cũng nhảy nhót lên xuống. Các oscillon có thể chuyển động và tương tác với nhau.

Các oscillon trong cát đồng là một thí dụ đơn giản của một hiệu ứng tổng quát trong thiên nhiên:

▷ Các hệ *rời rạc* với các tương tác phi tuyến có thể phô bày *những kích thích định xứ.* Xem 324

Người ta chỉ mới bắt đầu nghiên cứu chủ đề quyến rũ này. Có lẽ một ngày nào đó nó



HÌNH 291 Sự tự tổ chức: một bông tuyết tăng trưởng. (QuickTime film © Kenneth Libbrecht)

sẽ cho ta những kết quả có liên quan tới sự tìm hiểu về sự tăng trưởng của sinh vật. Cát cũng phô bày nhiều quá trình tạo ra kiểu thức.

— Một hỗn hợp cát và đường, khi đổ thành đống, sẽ tạo ra các cấu trúc phân lớp đều đặn mà theo thiết diện ngang trông giống như các vạch trên da ngựa vằn.
— Các hình trụ quay nằm ngang chứa các hỗn hợp 2 thành phần sẽ dần dần phân tách hỗn hợp đó.
— Lấy một bình chứa gồm có 2 phần có vách ngăn dày 1 cm. Đổ cát đầy 2 nửa và lắc nhanh cả bình bằng một cái máy. Theo thời gian, tất cả cát sẽ tự động tích luỹ vào một nửa của bình chứa.
— Trong cát, người ta đã nghiên cứu các loại cồn cát khác nhau biết 'hát lên' khi gió thổi qua chúng. Xem 325
— Các chỗ mấp mô được tạo nên do xe cộ chạy trên mặt đường không trải nhựa, đường có gờ như trong Hình 288 là một thí dụ về sự tự tổ chức. Những kiểu thức mấp mô này thường di chuyển theo thời gian *ngược với* hướng xe chạy. Bạn có thể giải thích điều này không? Các mô tuyết chuyển động được đề cập ở trên cũng thuộc trường hợp này. Xem 326 Câu đố 703 s Trang 319

Thật ra hành vi của cát và bụi, qua một chủ đề đẹp đẽ và quyến rũ như vậy, đang chứng tỏ rằng viễn cảnh sau cùng của mỗi con người khi trở về với cát bụi cũng không đến nỗi ảm đạm cho lắm.

Sự tự tổ chức của các hình cầu

Một thí dụ cực kỳ đơn giản và ngoạn mục của sự tự tổ chức là hiệu ứng được Karsten Kötter và cộng sự khám phá vào năm 1999. Họ nhận thấy rằng hành vi của một tập hợp các hình cầu được xoáy tròn trong một cái đĩa phụ thuộc vào số hình cầu được sử dụng. Thường thường mọi hình cầu được trộn lẫn một cách liên tục. Nhưng đối với những con số 'ma thuật' nào đó, như 21, các kiểu thức vòng ổn định hiện rõ, và các hình cầu bên ngoài hay bên trong vòng đều được giữ nguyên như vậy. Ta có thể thấy rõ các vòng bằng cách tô màu các hình cầu như trong Hình 290. Xem 327

Điều kiện xuất hiện trật tự

Việc nghiên cứu về các hệ tự tổ chức đã làm thay đổi sự hiểu biết của chúng ta về thiên nhiên theo nhiều cách. Đầu tiên, chúng đã chứng tỏ rằng các kiểu thức và hình dạng đều giống như các chu trình: tất cả đều *bắt nguồn từ chuyển động*. Không có chuyển động sẽ không có lịch sử, không có trật tự, không có kiểu thức, không có hình dạng lẫn nhịp
Xem 328 điệu. Mỗi kiểu thức có một lịch sử; mỗi kiểu thức là kết quả của *sự chuyển động*. Thí dụ, Hình 291 cho ta thấy cách tăng trưởng của bông tuyết.

Thứ nhì, các kiểu thức, hình dạng và nhịp điệu đều bắt nguồn từ các chuyển động có tổ chức của *một số lớn các hợp phần nhỏ*. Các hệ tự tổ chức luôn luôn là các hệ phức hợp: chúng là *các cấu trúc hợp tác*.

Thứ ba, tất cả những hệ này đều tuân theo các phương trình tiến hoá có tính *phi tuyến* trong các biến cấu hình vĩ mô. Các hệ tuyến tính không thể tự tổ chức được.

Thứ tư, sự xuất hiện và biến mất của trật tự phụ thuộc vào cường độ của lực hay quá trình dẫn động, tức là *tham số trật tự*.

Sau cùng, tất cả trật tự và tất cả cấu trúc đều xuất hiện khi 2 loại chuyển động tổng quát cạnh tranh với nhau, cụ thể là quá trình 'dẫn động', cộng thêm năng lượng, và cơ chế hãm đà hay cơ chế '*tiêu tán*'. Như vậy Nhiệt động lực học đóng vai trò quan trọng trong mọi sự tự tổ chức. Hệ tự tổ chức luôn luôn là *các hệ tiêu tán* và luôn luôn mất cân bằng. Khi dẫn động và tiêu tán có cùng bậc về độ lớn và khi hành trạng chủ yếu của hệ không phải là một hàm tuyến tính của tác dụng dẫn động thì trật tự xuất hiện.*

Toán học của sự xuất hiện của trật tự

Mỗi kiểu thức, mỗi hình dạng và mỗi nhịp điệu hay chu trình đều có thể mô tả bằng một số biến động lực A mô tả biên độ của kiểu thức, hình dạng hay nhịp điệu. Biên độ A có thể là chiều dài đối với kiểu thức cát, hay nồng độ hoá chất đối với các hệ sinh học, hay áp suất âm đối với sự xuất hiện âm thanh.

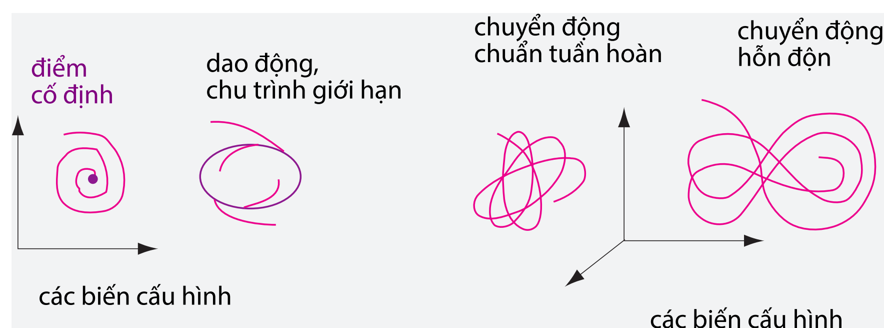
Trật tự xuất hiện khi biên độ A khác 0. Để hiểu sự xuất hiện của trật tự, ta phải hiểu sự tiến hoá của biên độ A. Việc nghiên cứu về trật tự đã chứng tỏ rằng biên độ này luôn luôn tuân theo các phương trình tiến hoá giống nhau, *độc lập* với kết cấu vật lý của hệ. Kết quả đáng kinh ngạc này thống nhất toàn bộ lĩnh vực của sự tự tổ chức.

Tất cả các hệ tự tổ chức ngay từ khi xuất hiện trật tự đều có thể mô tả bằng các phương trình đối với biên độ kiểu thức A có dạng tổng quát là

$$\frac{\partial A(t,x)}{\partial t} = \lambda A - \mu |A|^2 A + \kappa \, \Delta A + \text{bậc cao hơn} \,. \qquad (123)$$

Ở đây, biến động lực A – có thể là thực hay phức, để mô tả các tác dụng phase – là biến động lực xuất hiện khi trật tự xuất hiện, như biên độ dao động hay biên độ kiểu thức.

* Để mô tả 'sự bí mật' của đời người, những thuật ngữ như 'lửa', 'sông' hay 'cây' thường được sử dụng. Đây là tất cả các thí dụ về các hệ tự tổ chức: chúng có nhiều bậc tự do, có lực dẫn động và hãm đà cạnh tranh, phụ thuộc nhiều vào các điều kiện ban đầu của chúng, bộc lộ sự hỗn độn và hành trạng bất thường, đôi khi bộc lộ các chu trình và hành trạng bình thường. Con người và nhân sinh tương tự với chúng ở mọi phương diện nên ta có lý do vững chắc để sử dụng chúng làm các ẩn dụ. Ta cũng có thể đi xa hơn và nghiệm ra rằng vẻ đẹp thuần khiết *chỉ thuần tuý* là sự tự tổ chức. Việc thiếu vắng nét đẹp thường là kết quả của sự mất cân bằng giữa ngoại lực hãm đà và ngoại lực dẫn động.



HÌNH 292 Những thí dụ về các loại chuyển động khác nhau trong không gian cấu hình.

Số hạng đầu tiên λA là *số hạng dẫn động*, trong đó λ là một tham số mô tả cường độ lực dẫn động. Số hạng kế tiếp biểu diễn *tính chất phi tuyến tính* điển hình của A, với μ là tham số mô tả cường độ và số hạng thứ ba $\kappa\,\Delta A = \kappa(\partial^2 A/\partial x^2 + \partial^2 A/\partial y^2 + \partial^2 A/\partial z^2)$ biểu diễn tính khuếch tán điển hình và là số hạng *tiêu tán*.

Ta phân biệt 2 trường hợp chính. Trường hợp số hạng tiêu tán không có vai trò gì ($\kappa = 0$), ta thấy rằng khi tham số dẫn động λ lớn hơn zero, một dao động *theo thời gian*
Câu đố 704 ny xuất hiện, tức là một *chu trình giới hạn* ổn định với biên độ khác 0. Trường hợp số hạng khuếch tán có vai trò quan trọng, phương trình (123) mô tả cách mà biên độ đối của dao động trong *không gian* xuất hiện, khi tham số dẫn động λ lớn hơn 0, vì lời giải của $A = 0$
Câu đố 705 ny lúc đó trở nên không ổn định trong không gian.

Trong cả 2 trường hợp, sự khởi đầu của trật tự được gọi là *sự phân nhánh* vì tại giá trị tới hạn của tham số dẫn động λ, trạng thái có biên độ bằng 0, tức là trạng thái thuần nhất (hay không trật tự), trở nên không ổn định và trạng thái có trật tự trở nên ổn định. *Trong các hệ phi tuyến, trật tự là ổn định.* Đây là kết quả khái niệm chính của lĩnh vực này. Phương trình (123) và các biến đổi phong phú của nó cho phép ta mô tả nhiều hiện tượng, trải dài từ các đường xoắn ốc, sóng, kiểu thức lục giác, số khuyết topo cho tới
Xem 329 các dạng thức cuộn xoáy. Đối với mỗi hệ vật lý đang nghiên cứu, công việc chính là tinh luyện biến động lực A và các tham số λ, μ, κ từ các quá trình vật lý làm nền tảng.

Tóm lại, sự xuất hiện của trật tự có thể được mô tả thành các phương trình có giá trị tổng quát. Sự tự tổ chức về mặt cơ bản là một quá trình đơn giản. Nói cách khác: vẻ đẹp có tính đơn giản.

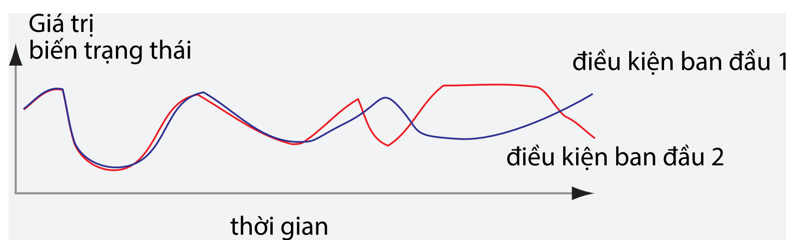
Sự tự tổ chức là một lĩnh vực rộng lớn, đang phát sinh nhiều kết quả mới, gần như trong mỗi tuần. Để khám phá các chủ đề nghiên cứu mới, chỉ cần mở to đôi mắt của bạn là đủ; phần lớn các hiệu ứng đều dễ hiểu, không cần toán học cao cấp. Hãy thưởng thức
Câu đố 706 e việc săn lùng này!

Sự hỗn độn

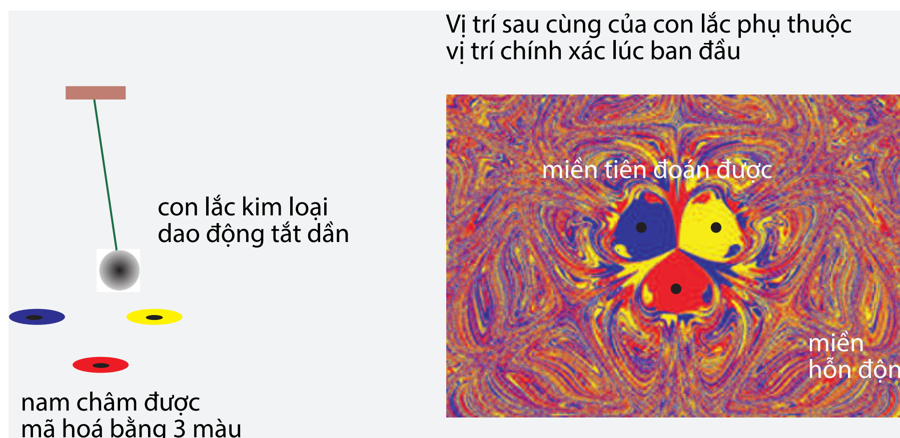
Phần lớn các hệ cho thấy tính tự tổ chức cũng bộc lộ các loại chuyển động khác. Khi tham số dẫn động của hệ tự tổ chức tăng lên các giá trị càng ngày càng lớn, trật tự sẽ càng ngày càng thất thường và cuối cùng người ta thường tìm thấy *Sự hỗn độn*.

Đối với vật lý gia, chuyển động hỗn độn là loại chuyển động bất thường nhất.* Ta có thể định nghĩa hỗn độn độc lập với sự tự tổ chức, cụ thể là chuyển động của các hệ

* Về chủ đề hỗn độn, hãy đọc quyển sách giá trị của HEINZ-OTTO PEITGEN, HARTMUT JÜRGENS &



HÌNH 293 Hỗn độn có tính nhạy cảm đối với các điều kiện ban đầu.



HÌNH 294 Một hệ hỗn độn đơn giản: Một con lắc kim loại dao động trên ba nam châm (fractal © Paul Nylander).

mà đối với nó, các thay đổi nhỏ trong các điều kiện ban đầu sẽ chuyển biến thành những thay đổi lớn của chuyển động (theo luật hàm mũ đối với thời gian). Điều này được minh hoạ trong Hình 293. Nói chính xác hơn,

▷ *Sự hỗn độn* (vật lý) là chuyển động bất thường được đặc trưng bởi một *hàm mũ Lyapounov* dương nhưng vẫn có sự tiến hoá nghiêm ngặt.

Một hệ hỗn độn đơn giản là con lắc dao động tắt dần trên 3 nam châm. Hình 294 cho ta thấy cách mà các miền có tính tiên đoán được (quanh vị trí 3 nam châm) dần dần đổi thành một miền hỗn độn, tức là một miền có tính không tiên đoán được hiệu dụng, đối với các biên độ ban đầu lớn hơn. Thời tiết là một hệ hỗn độn; vòi nước nhỏ giọt, việc tung hột xúc xắc và nhiều hệ thông thường khác cũng vậy. Việc nghiên cứu về cơ chế tạo ra nhịp tim đã chứng tỏ rằng tim không phải là một dao động tử mà là một hệ hỗn độn có chu kỳ không đều. Điều này giúp cho tim luôn sẵn sàng với các yêu cầu thay đổi
Xem 330 tốc độ co bóp phát sinh khi cơ thể cần tăng hay giảm nỗ lực.

Trong máy móc cũng có chuyển động hỗn độn: hỗn độn xuất hiện trong chuyển động

Dietmar Saupe, *Chaos and Fractals*, Springer Verlag, 1992. Nó có nhiều hình ảnh lộng lẫy, nền tảng toán học cần thiết và một số chương trình điện toán cho phép ta trực tiếp thám hiểm chủ đề này. 'Sự hỗn độn' là một từ cổ: theo thần thoại Hy Lạp, nữ thần đầu tiên, Gaia, tức là Đất mẹ, xuất hiện từ sự hỗn mang lúc ban đầu. Bà sinh ra các vị thần khác, động vật và những con người đầu tiên.

của tàu trên đường ray, trong cơ chế truyền động và trong ống nước chữa lửa. Việc nghiên cứu chính xác về chuyển động trong quẹt zippo có lẽ cũng tạo ra một thí dụ về hỗn độn.
Câu đố 707 ny Sự mô tả toán học của hỗn độn – đơn giản đối với một số thí dụ trong sách giáo khoa nhưng cực kỳ phức tạp đối với các trường hợp khác – vẫn còn là một chủ đề nghiên cứu quan trọng.

Nhân tiện đây bạn có thể cho một lập luận đơn giản để chứng minh rằng không thể
Câu đố 708 s có *hiệu ứng cánh bướm* hay không? 'Hiệu ứng' này thường được báo chí trích dẫn. Lý luận ở đây là tính phi tuyến hàm ý rằng một sự thay đổi nhỏ trong những điều kiện ban đầu cũng có thể dẫn tới những hiệu ứng lớn lao; như vậy một con bướm đập cánh được cho là có thể gây nên một cơn bão táp. Cho dù tính phi tuyến có thực sự dẫn tới sự tăng trưởng của các nhiễu loạn, 'hiệu ứng' cánh bướm đã *không bao giờ* diễn ra. Như vậy nó *không hề* hiện hữu. 'Hiệu ứng' hiện hữu chỉ để bán sách và xin cấp kinh phí.

Tất cả các giai đoạn từ mất trật tự đến trật tự, tính chuẩn tuần hoàn và sau cùng là hỗn độn, đều là các thí dụ về sự tự tổ chức. Các loại chuyển động này, được minh hoạ trong Hình 292, đã xuất hiện trong nhiều hệ lưu chất. Việc nghiên cứu chúng một ngày
Xem 331 nào đó sẽ giúp ta hiểu biết sâu sắc hơn về các bí mật của cuộn xoáy. Mặc dù đề tài này rất hấp dẫn nhưng ta sẽ không tìm hiểu thêm vì nó không giúp ta giải mật chuyển động.

Nguyên lý đột sinh

> "Từ một giọt nước, một nhà luận lý học có thể tiên đoán ra cả một Đại tây dương hay một ngọn thác Niagara."
>
> Arthur Conan Doyle, *A Study in Scarlet*

Sự tự tổ chức còn thú vị vì nhiều lý do. Đôi khi người ta nói rằng khả năng thiết lập các kiểu thức hay quy luật thiên nhiên từ sự quan sát không có nghĩa là ta có khả năng tiên đoán *mọi* hiện tượng từ các quy luật này. Theo quan điểm này, có những tính chất được gọi là tính chất 'đột sinh', tức là những tính chất xuất hiện trong những hệ phức tạp, là những điều *mới lạ* mà ta không thể suy ra từ các tính chất của các bộ phận hay sự tương tác của chúng. (Nền tảng tư tưởng của quan điểm này cũng hiển nhiên; nó là nỗ lực chiến đấu cuối cùng với ý tưởng của tất định luận.) Việc nghiên cứu sự tự tổ chức đã giải quyết dứt điểm cuộc tranh luận này. Các tính chất của các phân tử nước cho phép ta tiên đoán về thác Niagara.* Tương tự như vậy, sự khuếch tán của các phân tử tín hiệu đã xác định sự phát triển của một tế bào đơn lẻ thành một con người hoàn chỉnh: đặc biệt, các hiện tượng hợp tác xác định vị trí nơi tay chân được hình thành; chúng bảo đảm cho sự đối xứng phải - trái (gần đúng) của cơ thể người, ngăn sự hỗn loạn của các kết nối khi những tế bào trong võng mạc được nối với não, và giải thích các kiểu thức của lông
Xem 333 trên ngựa vằn và báo, là một vài thí dụ. Cơ chế ban đầu của nhịp tim và nhiều chu trình khác đã được giải mã. Nhiều hiện tượng lưu chất hợp tác đã được mô phỏng xuống tới mức độ phân tử.

Sự tự tổ chức cung cấp các nguyên lý tổng quát, về nguyên tắc cho phép ta tiên đoán hành trạng của một phức hệ bất kỳ. Hiện nay chúng được áp dụng vào một hệ phức tạp

* Đã có các phiên bản thu nhỏ của thác Niagara, cụ thể là các vòi nước nhỏ giọt, cho ta thấy trong một
Xem 332 phạm vi rộng lớn, các hiện tượng hợp tác, bao gồm sự rơi hỗn độn, tức là không tuần hoàn, của các giọt nước. Điều này xảy ra khi tốc độ chảy của nước có giá trị thích hợp, như bạn có thể kiểm chứng trong nhà bếp của mình.

nhất trong vũ trụ mà ta đã biết: não bộ của con người. Các chi tiết về cách mà nó học để phối hợp các chuyển động của cơ thể, cách trích xuất thông tin từ các hình ảnh trong não, đã được nghiên cứu một cách sôi nổi. Hoạt động đang diễn ra trong lĩnh vực này Xem 334 khá hấp dẫn. (Một trường hợp tự tổ chức bị bỏ qua là *tiếng cười* nhưng bản thân nó cũng đã *khôi hài* rồi). Nếu bạn lên kế hoạch để trở thành một khoa học gia, hãy cân nhắc việc Câu đố 709 e đi theo con đường này.

Việc nghiên cứu sự tự tổ chức cung cấp cho ta lý luận sau cùng khẳng định những điều mà J. Offrey de la Mettrie đã phát biểu và tìm hiểu trong quyển sách nổi tiếng của ông, *L'homme machine* năm 1748: con người là những cái máy phức tạp. Thật vậy, việc không tìm hiểu các phức hệ trong quá khứ đã chủ yếu bắt nguồn từ việc giảng dạy hạn chế về chủ để chuyển động và thường tập trung – như ta đã làm trong cuộc hành trình này – vào các thí dụ về chuyển động trong các hệ *đơn giản*. Những khái niệm về sự tự tổ chức giúp ta tìm hiểu và mô tả những điều xảy ra trong sự vận hành và tăng trưởng của sinh vật.

Mặc dù chủ để tự tổ chức cho ta nhiều nhận thức sâu sắc và vẫn tiếp tục như vậy trong nhiều năm nữa, ta vẫn phải tạm biệt nó để tiếp tục cuộc hành trình tìm hiểu *các nền tảng* của chuyển động.

> “Ich sage euch: man muss noch Chaos in sich haben, um einen tanzenden Stern gebären zu können. Ich sage euch: ihr habt noch Chaos in euch.*”
>
> Friedrich Nietzsche, *Also sprach Zarathustra*.

Các câu đố vui và lạ về sự tự tổ chức

Mọi băng trụ đều có bề mặt dợn sóng, với khoảng cách đỉnh-đỉnh khoảng 1 cm, như ta Xem 335 thấy trong Hình 295. Khoảng cách này được xác định nhờ sự tương tác giữa dòng nước Câu đố 710 ny và sự làm lạnh bề mặt đã diễn ra như thế nào? (Thạch nhũ không cho thấy hiệu ứng này.)

* *

Khi một dòng nước mảnh chảy ra khỏi vòi, việc đặt một ngón tay trong dòng nước sẽ Câu đố 711 ny tạo ra hình dạng dợn sóng, như ta thấy trong Hình 296. Tại sao?

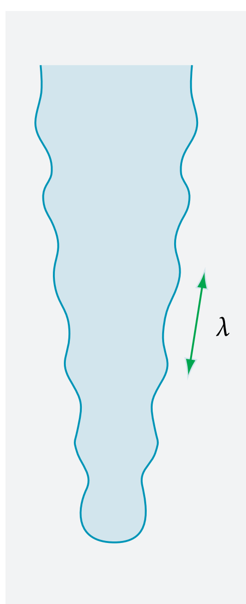
* *

Việc nghiên cứu về cát đã chứng tỏ rằng việc đưa ra khái niệm *nhiệt độ hạt*, để định lượng tốc độ chuyển động của một vùng cát là một điều có ích. Việc nghiên cứu trong lĩnh vực này vẫn còn sôi nổi.

* *

Khi nước thoát ra từ một lỗ hình bầu dục, dòng nước tạo thành một kiểu thức nơ, như trong Hình 297. Hiệu ứng này là kết quả của sự tương tác và cạnh tranh giữa quán tính Xem 336 và sức căng mặt ngoài: quán tính có khuynh hướng mở rộng dòng nước trong khi sức căng lại cố thu hẹp nó. Việc tiên đoán khoảng cách giữa các vùng thu hẹp vẫn còn là đề tài nghiên cứu.

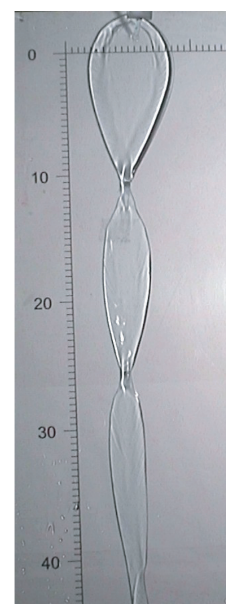
* ‘Ta nói cùng các ngươi: phải mang theo hỗn mang trong người, để hạ sinh một ngôi sao nhảy múa. Ta nói cùng các ngươi: các ngươi vẫn mang trong mình sự hỗn mang.’



HÌNH 295 Bề mặt dợn sóng của các băng trụ.



HÌNH 296 Thuỷ ngọc trai.



HÌNH 297 Một dòng nước kết nơ (© Vakhtang Putkaradze).



HÌNH 298 Phản ứng Belousov-Zhabotinski: chất lỏng đổi màu một cách tuần hoàn, cả trong không gian và thời gian (© Yamaguchi University).

Nếu thí nghiệm được thực hiện trong không khí, người ta thường thấy một hiệu ứng phụ: có sự kết nơ *thủ đối* ở các vùng hẹp, do sự bất đối xứng của dòng nước tạo ra. Bạn có thể quan sát hiệu ứng này trong toilet! Lòng ham hiểu biết khoa học không có giới hạn: bạn là người quay phải hay quay trái, hay cả hai? Có thường xuyên không? Câu đố 712 e

* *

Khi rượu vang được khuấy tròn trong ly, sau khi chuyển động đã chậm lại, các dòng rượu chảy xuống thành ly tạo thành các cung nhỏ. Bạn có thể giải thích ngắn gọn cho biết cái

Câu đố 713 ny gì đã tạo ra chúng không?

* *

Khoảng cách trung bình giữa các xe hơi đậu dọc theo lề đường thay đổi theo thời gian như thế nào nếu ta giả sử rằng tốc độ đi và đến của xe không đổi? Câu đố 714 ny

* *

Một trường hợp xuất hiện trật tự nổi tiếng là *phản ứng Belousov-Zhabotinski*. Hỗn hợp hoá chất này tự phát sinh ra các kiểu thức không gian và thời gian. Các lớp mỏng sinh ra các kiểu thức xoắn ốc quay tròn chầm chậm như ta thấy trong Hình 298; các khối chất lỏng lớn đảo lộn, dao động tới lui giữa 2 màu. Bạn có thể tìm thấy một đoạn phim đẹp mắt của dao động này tại www.uni-r.de/Fakultaeten/nat_Fak_IV/Organische_Chemie/Didaktik/Keusch/D-oscill-d.htm. Việc tìm hiểu phản ứng này đã đem lại giải Nobel hoá học cho Ilya Prigogine năm 1997.

* *

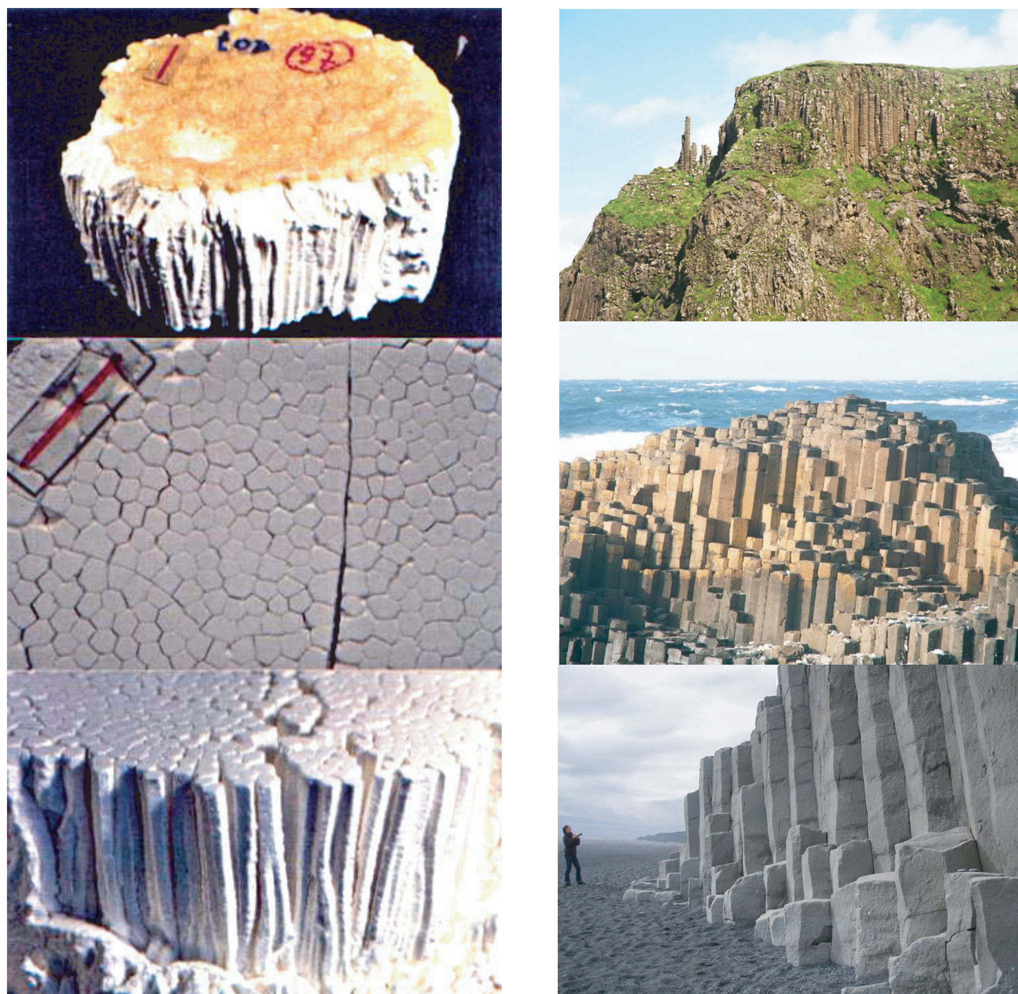
Gerhard Müller đã khám phá ra một cách đơn giản nhưng khéo léo để quan sát sự tự tổ chức trong chất rắn. Hệ thống của ông cũng cung cấp một mô hình cho quá trình địa chất nổi tiếng, sự thành lập các cột đá basalt lục giác, như Giant's Causeway ở Bắc Ireland. Các dạng thức tương tự cũng được tìm thấy tại nhiều nơi khác trên Trái đất. Chỉ Xem 337 cần lấy bột gạo hay bột bắp, trộn thêm nước bằng nửa lượng bột, đặt lên chảo và sấy khô Câu đố 715 e nó bằng một cái đèn: các cột lục giác được hình thành. Sự tương tự với cấu trúc của đá basalt có thể là vì sự sấy khô tinh bột và sự làm nguội dung nham đều là các quá trình khuếch tán bị chi phối bởi các phương trình giống nhau, các điều kiện biên như nhau và cả 2 chất liệu đều đáp ứng với sự làm nguội bằng sự co rút của thể tích.

* *

Dòng nước trong các ống có thể chảy theo lớp (trơn tru) hay chảy rối (không đều và mất trật tự). Sự chuyển tiếp phụ thuộc đường kính d của ống và tốc độ v của nước. Sự chuyển tiếp thường xảy ra khi *số Reynolds* – được định nghĩa là $\mathrm{Re} = vd/\eta$ lớn hơn 2000. (Số Reyonolds là một trong vài biến động lực vật lý được viết tắt theo quy ước gồm 2 ký tự.) Ở đây, η là *độ nhớt động* của nước, khoảng 1 mm^2/s; trái lại, *độ nhớt động lực* được định Xem 338 nghĩa là $\mu = \eta\rho$, trong đó ρ là mật độ lưu chất. Số Reynolds lớn có nghĩa là tỷ số giữa các hiệu ứng quán tính và tiêu tán lớn, ấn định một dòng chảy cuộn xoáy; một số Reynolds nhỏ thì điển hình cho một dòng chảy *nhớt*.

Những thí nghiệm hiện đại được thực hiện kỹ lưỡng chứng tỏ rằng nếu được xử lý chính xác, các dòng chảy thành lớp có thể tạo ra Re = 100 000. Giải tích tuyến tính của các phương trình chuyển động của lưu chất, các phương trình Navier–Stokes, đều tiên đoán sự ổn định của dòng chảy thành lớp đối với *mọi* số Reynolds. Điều bí ẩn này chỉ được giải quyết vào các năm 2003 và 2004. Trước tiên, Giải tích phức đã chứng tỏ rằng dòng chảy thành lớp không phải luôn luôn ổn định và sự chuyển tiếp sang cuộn xoáy trong một ống dài xảy ra với sóng chạy. Rồi vào năm 2004, các thí nghiệm được thực hiện kỹ lưỡng đã chứng tỏ rằng các sóng chạy này thực sự xuất hiện khi nước chảy xuyên Xem 339 qua một cái ống có số Reynolds lớn.

* *



HÌNH 299 Một sự tương ứng nổi tiếng: ở hình bên trái, các cột lục giác trong tinh bột, nở ra trên chảo (vạch đỏ có chiều dài 1 cm), và ở hình bên phải, các cột lục giác trong đá basalt, phát triển từ dung nham núi lửa ở Bắc Ireland (hình trên bên phải, tầm nhìn khoảng 300 m, hình giữa bên phải, tầm nhìn khoảng 40 m) và Iceland (tầm nhìn khoảng 30 m, hình dưới bên phải) (© Gerhard Müller, Raphael Kessler - www.raphaelk.co.uk, Bob Pohlad, and Cédric Hüsler).

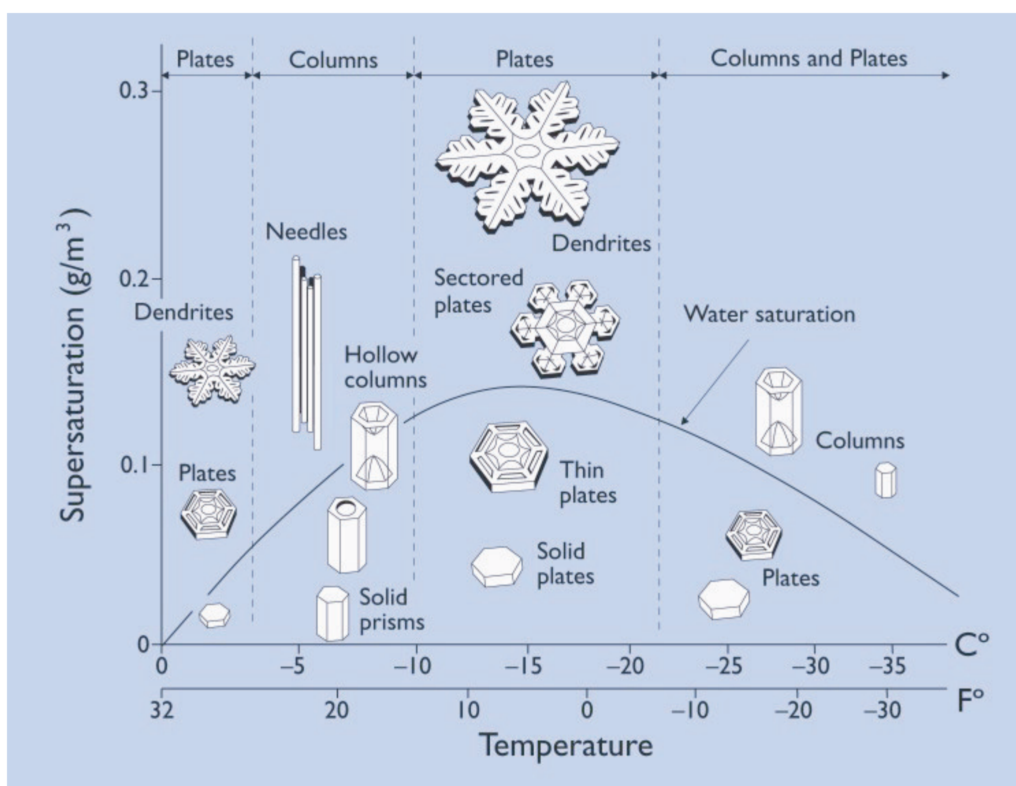
Để có những hình ảnh của sự tự tổ chức trong lưu chất đẹp đẽ hơn, bạn hãy ghé thăm website serve.me.nus.edu.sg/limtt.

* *

Ta cũng có thể quan sát được sự hỗn độn trong các mạch điện tử đơn giản (và phức tạp). Nếu mạch điện tử do bạn thiết kế hoạt động thất thường, hãy kiểm tra lại phần này!

* *

Khiêu vũ cũng là một thí dụ về sự tự tổ chức. Loại tự tổ chức này xảy ra trong não bộ. Giống như mọi chuyển động phức tạp, việc học khiêu vũ thường là một sự thử thách.



HÌNH 300 Sự phụ thuộc của hình dạng các tinh thể tuyết vào nhiệt độ và độ bão hoà (© Kenneth Libbrecht).

Xem 340 Ngày nay có các cuốn sách hay cho biết cách mà Vật lý có thể giúp bạn cải thiện kỹ năng khiêu vũ cùng với sự duyên dáng của các động tác.

* *

Bạn có muốn thưởng thức điều này trong khi hoàn thành học vị Tiến sĩ không? Hãy vào một tiệm bán đồ chơi khoa học, tìm một món đồ chơi có chuyển động phức tạp. Có nhiều khả năng chuyển động này có tính hỗn độn; hãy tìm hiểu chuyển động và trình bày một luận án về nó. Thí dụ như: tìm hiểu chuyển động của một sợi dây treo, đầu trên được dẫn động từ bên ngoài. Hệ đơn giản này khá hấp dẫn trong phạm vi các hành trạng của chuyển động phức tạp.

* *

Ta cũng quan sát được sự tự tổ chức trong hỗn hợp nước – bột bắp lỏng. Hãy thưởng thức các film ở trang www.youtube.com/watch?v=f2XQ97XHjVw và xem các hiệu ứng kỳ dị hơn, về những người đi trên một hồ đầy chất lỏng, trên trang www.youtube.com/watch?v=nq3ZjY0Uf-g.

* *

Bông tuyết và tinh thể tuyết đã được xem là các thí dụ về sự tự tổ chức. Hình 300 biểu

diễn mối liên hệ tổng quát này. Để biết thêm về chủ đề hấp dẫn này, hãy thám hiểm website tuyệt vời snowcrystals.com của Kenneth Libbrecht. Người ta cũng đã thiết lập
Xem 341 được một bảng phân loại tinh thể tuyết đầy đủ.

* *

Một thí dụ nổi tiếng về sự tự tổ chức mà cơ chế hoạt động của nó cho đến nay vẫn chưa được biết rõ, là *nấc cụt*. Người ta đã biết vai trò của dây thần kinh phế vị trong hiện tượng này. Giống như các thí dụ khác, ta mất khá nhiều năng lượng để thoát khỏi một cơn nấc cụt. Nghiên cứu thực nghiệm hiện đại đã chứng tỏ rằng sự cực khoái, sự kích thích mạnh mẽ thần kinh phế vị, là cách tuyệt hảo để vượt qua các cơn nấc cụt. Một trong các nhà nghiên cứu đã đoạt giải IgNobel Y học 2006 cho công trình này.

* *

Một thí dụ quan trọng khác về sự tự tổ chức là *thời tiết*. Nếu bạn muốn biết thêm về mối liên hệ nổi tiếng giữa thời tiết và chất lượng sống của con người trên Trái đất, thoát khỏi
Xem 342 mọi ý thức hệ, hãy đọc quyển sách kỳ diệu của Reichholf. Nó giải thích thời tiết giữa các lục địa đã kết nối với nhau như thế nào và mô tả cách thức và nguyên do thời tiết thay đổi trong một ngàn năm qua.

* *

Sự tự tổ chức hay sự tiến hoá sinh học có mâu thuẫn với Nguyên lý 2 Nhiệt động lực học không? Dĩ nhiên là không.

Các hệ tự tổ chức theo định nghĩa là các hệ mở và thường không cân bằng. Khái niệm entropy, nói chung, không xác định đối với các hệ như vậy và Nguyên lý 2 không thể áp dụng cho chúng. Tuy vậy, ta có thể xác định entropy của các hệ *gần* cân bằng. Trong những hệ như vậy Nguyên lý 2 phải được điều chỉnh; lúc đó ta có thể tìm hiểu và khẳng định rằng sự tự tổ chức không mâu thuẫn mà thật ra *tuân theo* Nguyên lý 2 đã được điều chỉnh này.

Đặc biệt, sự tiến hoá không mâu thuẫn với Nhiệt động lực học, vì Trái đất không phải
Xem 343 là hệ nhiệt động lực cô lập cân bằng. Chỉ có những tên lừa đảo mới nói ngược lại.

* *

Xem 344 Năm 2015, 3 vật lý gia đã tiên đoán rằng có một hàm mũ Lyapunov lớn nhất trong thiên nhiên, vì vậy ta luôn luôn có

$$\lambda \leqslant e\pi\frac{kT}{\hbar} \tag{124}$$

trong đó T là nhiệt độ, k là hằng số Boltzmann và $\hbar$ là lượng tử tác dụng. Như vậy sự gia tăng của sự mất trật tự bị giới hạn.

* *

Có phải các hệ tự tổ chức là các hệ phức tạp nhất mà người ta có thể nghiên cứu bằng các phương trình tiến hoá hay không? Không. Các hệ phức tạp nhất là các hệ bao gồm nhiều hệ tự tổ chức tương tác với nhau. Một thí dụ hiển nhiên là *các bầy đàn*. Những
Xem 345 đàn chim như trong Hình 301, đàn cá, đàn côn trùng và đám đông người – trong một sân vận động hay trong những chiếc xe trên xa lộ – đã và đang được nghiên cứu hết sức



HÌNH 301 Một đàn chim sáo điển hình mà du khách ở La Mã có thể thấy vào mỗi mùa thu (© Andrea Cavagna, Physics Today).

Xem 346 nhiệt tình. Vẻ đẹp của chúng thật quyến rũ.

Một thí dụ khác về các hệ tự tổ chức có nhiều liên kết là não bộ; việc tìm hiểu phương thức mà các neuron được liên kết hoạt động để tạo ra *tư tưởng* sẽ thu hút các nhà nghiên cứu trong nhiều năm. Ta sẽ tìm hiểu một số phương diện trong các quyển kế tiếp.

Tóm tắt về sự tự tổ chức và sự hỗn độn

Sự xuất hiện của *trật tự*, dưới dạng các kiểu thức, hình dạng và chu trình, không bắt nguồn từ sự giảm entropy mà từ sự cạnh tranh giữa nguyên nhân dẫn động và các hiệu ứng tiêu tán trong các hệ mở. Sự xuất hiện trật tự như vậy là một quá trình phổ biến, thường là tự động và có thể tiên đoán được bằng các phương trình (khá) đơn giản. Sự tăng trưởng của các sinh hệ và sự tiến hoá sinh học cũng là các thí dụ về sự xuất hiện của trật tự.

Sự hỗn độn, độ nhạy của sự tiến hoá đối với các điều kiện ban đầu, phổ biến trong các hệ mở bị kích động mạnh. Hỗn độn là nền tảng của sự ngẫu nhiên thông thường và cũng thường được mô tả bằng các phương trình đơn giản. Trong thiên nhiên, sự phức

tạp là biểu kiến. Chuyển động thì đơn giản.



Chương 15

Từ sự giới hạn của Vật lý tới các giới hạn của chuyển động

> "Tôi chỉ biết một điều là tôi không biết gì cả."
> Socrates, được Plato trích dẫn

Chúng ta đã thám hiểm, trong môi trường của chúng ta, khái niệm chuyển động. Chúng ta gọi việc tìm hiểu về các vật và lưu chất chuyển động là *Vật lý Galilei*. Ta đã nhận thấy rằng trong đời sống thông thường, chuyển động *có thể tiên đoán được*: thiên nhiên không cho thấy sự ngạc nhiên và phép mầu. Đặc biệt, ta đã tìm được 6 đặc điểm quan trọng của tính có thể tiên đoán được này:

1. Chuyển động thông thường có tính *liên tục*. Chuyển động cho phép ta định nghĩa không gian và thời gian.
2. Chuyển động thông thường *bảo toàn* khối lượng, động lượng, năng lượng và moment động lượng. Không có gì xuất hiện từ hư vô.
3. Chuyển động thông thường có tính *tương đối*: chuyển động phụ thuộc vào quan sát viên.
4. Chuyển động thông thường có tính *thuận nghịch*: chuyển động thông thường có thể xảy ra theo chiều ngược lại.
5. Chuyển động thông thường có tính *bất biến gương*: chuyển động thông thường có thể xảy ra theo phương thức nghịch đảo gương.

Tính chất sau cùng quan trọng nhất và ngoài ra nó còn chứa cả 5 tính chất trên:

6. **Chuyển động thông thường có *tính lười***: chuyển động xảy ra theo phương thức cực tiểu hoá biến đổi, tức là tác dụng vật lý cực tiểu.

Sự mô tả thiên nhiên của Galilei đã tạo ra kỹ nghệ: máy dệt, máy hơi nước, động cơ nổ, dụng cụ nhà bếp, đồng hồ, đồ chơi trẻ em, máy tập thể dục, thiết bị y tế và mọi tiến bộ trong việc nâng cao chất lượng đời sống đi theo các thiết bị này đều bắt nguồn từ các kết quả của Vật lý Galilei. Nhưng dù đạt được nhiều thành công, câu nói của Socrates, được trích dẫn ở trên, vẫn có thể áp dụng cho Vật lý Galilei: chúng ta hầu như không biết gì cả. Ta hãy thử xem coi tại sao.

Các chủ đề nghiên cứu trong Động lực học cổ điển

Mặc dù Cơ học và Nhiệt động lực học đã già mấy trăm tuổi nhưng việc nghiên cứu sâu trong hai môn này vẫn đang tiếp diễn. Như đã để cập ở trên, ta chưa rõ là Thái dương hệ có ổn định hay không. Ta vẫn chưa biết tương lai lâu dài của các hành tinh! Nói chung,

hành trạng của hệ nhiều vật tương tác thông qua lực hấp dẫn vẫn còn là đề tài nghiên
Xem 347 cứu của Vật lý toán. Việc trả lời cho câu hỏi đơn giản: tập hợp các vật hấp dẫn nhau, ở với nhau trong bao lâu là một thách thức lớn. Lịch sử của *bài toán nhiều vật* này khá dài và phức tạp. Người ta đã đạt được các tiến bộ đáng chú ý nhưng câu trả lời sau cùng vẫn lảng tránh chúng ta.

Còn nhiều thách thức trong các lĩnh vực tự tổ chức, các phương trình tiến hoá phi tuyến và chuyển động hỗn độn. Trong các lĩnh vực này, *chuyển động cuộn xoáy* là thí dụ nổi tiếng nhất: ta vẫn chưa đạt được sự mô tả chính xác mặc dù đã nỗ lực rất nhiều. Các giải thưởng lớn đang chờ các lời giải của bài toán.

Nhiều thách thức khác đã thúc đẩy các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực Toán học, Vật lý, Hoá học, Sinh học, Y học và các khoa học tự nhiên khác. Nhưng ngoài các chủ đề nghiên cứu này, Vật lý cổ điển đã để lại nhiều câu hỏi cơ bản chưa được trả lời.

Tiếp xúc là gì?

> “Democritus đã tuyên bố rằng chỉ có một loại chuyển động duy nhất: chuyển động sinh ra từ sự va chạm.”
>
> Simplicius, *Commentary on the Physics of Aristotle*, 42, 10

Xem 348

Trong các câu hỏi mà Vật lý cổ điển chưa trả lời được thì câu hỏi về *sự tiếp xúc* và *sự va chạm* là cấp thiết nhất. Thật vậy, ta đã định nghĩa khối lượng theo độ biến thiên vận
Trang 101 tốc trong va chạm. Nhưng tại sao các vật lại thay đổi chuyển động trong lúc đó? Tại sao va chạm giữa 2 trái banh làm bằng chewing gum lại khác với va chạm giữa 2 trái banh thép? Điều gì xảy ra trong lúc tiếp xúc?

Sự tiếp xúc có liên hệ với các tính chất của vật liệu, là điều làm ảnh hưởng tới chuyển động theo những phương thức phức tạp. Sự phức tạp khiến cho Khoa học vật liệu phát triển độc lập với phần còn lại của Vật lý trong một thời gian dài; thí dụ như kỹ thuật luyện kim (thường được coi là khoa học cổ nhất trong các môn khoa học), Hoá học và môn nấu ăn chỉ có liên hệ với các tính chất của chuyển động trong thế kỷ 20, sau khi đã được theo đuổi một cách độc lập trong hàng ngàn năm. Vì tính chất của vật liệu xác định bản chất của tiếp xúc nên ta *cần* biết về vật chất và vật liệu để hiểu các khái niệm khối lượng, tiếp xúc và chuyển động. Giai đoạn liên quan tới Thuyết lượng tử trong cuộc hành trình sẽ làm sáng tỏ các mối liên hệ này.

Điều gì xác định độ chính xác và độ đúng?

Xem 349 Độ chính xác có sự hấp dẫn riêng của nó. Bạn thuộc được bao nhiêu chữ số của π, tỷ số
Câu đố 716 e giữa chu vi và đường kính của vòng tròn? Số chữ số nhiều nhất của π mà bạn đã tự tính được là bao nhiêu?

Ta có thể vẽ hay cắt một hình chữ nhật sao cho tỷ số các chiều dài là một số có dạng 0.131520091514001315211420010914..., mà các chữ số của nó có thể mã hoá cả một
Câu đố 717 s cuốn sách không? (Một phương pháp đơn giản: mã hoá dấu cách là 00, chữ ‘a’ là 01, ‘b’ là 02, ‘c’ là 03, v.v... Hay thú vị hơn, ta có thể in con số này bên trong cuốn sách của riêng nó không?)

Tại sao kết quả của nhiều phép đo như trong Bảng 52, có độ chính xác *giới hạn* mặc

BẢNG 52 Các thí dụ về sai số trong các phép đo tiên tiến (các số trong ngoặc đơn cho ta độ lệch tiêu chuẩn trong các chữ số cuối cùng), được trích một phần từ physics.nist.gov/constants.

Trường hợp đo	Số đo	Độ chính xác / độ đúng
Độ chính xác cao nhất đã đạt được: tỷ số giữa moment từ của electron và magneton Bohr μ_e/μ_B	$-1.001\,159\,652\,180\,76(24)$	$2.6 \cdot 10^{-13}$
Độ chính xác cao: hằng số Rydberg	$10\,973\,731.568\,539(55)\,\mathrm{m}^{-1}$	$5.0 \cdot 10^{-12}$
Độ chính xác cao: đơn vị thiên văn	$149\,597\,870.691(30)\,\mathrm{km}$	$2.0 \cdot 10^{-10}$
Độ chính xác công nghiệp: dung sai của kích thước các bộ phận trong động cơ xe hơi	2 µm trong 20 cm	$5 \cdot 10^{-6}$
Độ chính xác thấp: hằng số hấp dẫn G	$6.674\,28(67) \cdot 10^{-11}\,\mathrm{Nm}^2/\mathrm{kg}^2$	$1.0 \cdot 10^{-4}$
Độ chính xác thông thường: đồng hồ ngày của con người điều khiển giấc ngủ	15 h tới 75 h	2

dù ngân sách dành cho dụng cụ đo hầu như không có giới hạn? Đây là tất cả các câu hỏi về độ chính xác.

Khi bắt đầu leo lên đỉnh Hành Sơn, ta đã giải thích rằng việc kiếm được độ cao đồng nghĩa với việc gia tăng *độ chính xác* của sự mô tả thiên nhiên. Để làm cho phát biểu này chính xác hơn, ta phân biệt 2 thuật ngữ: *độ chính xác* là mức độ của khả năng tái lập; *độ đúng* là mức độ tương ứng với tình trạng thật. Cả 2 khái niệm đều áp dụng cho các phép đo,* các phát biểu và các khái niệm vật lý.

Các phát biểu với độ đúng và độ chính xác không tốt thì khá nhiều. Chúng ta sẽ nghĩ gì về hãng xe – Ford – người tuyên bố rằng hệ số lực cản c_w của một kiểu xe nào đó là 0.375? Hay về các tuyên bố chính thức rằng kỷ lục thế giới trong việc tiêu thụ nhiên liệu đối với xe hơi là 2315.473 km/l? Hay về phát biểu cho rằng 70.3 % công dân đều chia sẻ một ý kiến nào đó? Một bài học mà ta đã biết từ việc nghiên cứu về sai số đo lường là ta không nên cung cấp nhiều chữ số cho một kết quả hơn con số mà ta có thể tin tưởng.

Câu đố 718 s

Trang 452

Tóm lại, độ chính xác và độ đúng *có giới hạn*. Hiện nay, kỷ lục về số chữ số tin cậy đã có được trong một phép đo một đại lượng vật lý là 13. Tại sao lại ít như vậy? Vật lý Galilei không có câu trả lời. Số chữ số tối đa mà ta mong đợi trong một phép đo là bao nhiêu; điều gì xác định nó; và làm cách nào để đạt được nó? Những câu hỏi này vẫn chưa được trả lời tại điểm này trong cuộc hành trình của chúng ta. Chúng sẽ được trả lời đầy đủ trong phần Thuyết lượng tử.

Trong cuộc hành trình ta luôn hướng tới độ chính xác và độ đúng cao nhất đồng thời tránh độ đúng không tốt. Do đó, các khái niệm phải thật *chính xác* và sự mô tả phải *đúng*. Không đúng là bằng chứng của việc không hiểu. Nói thẳng ra, trong cuộc hành trình của chúng ta, 'không đúng' có nghĩa là *sai*. Việc tăng độ đúng và độ chính xác trong sự mô tả thiên nhiên đồng nghĩa với việc bỏ lại tất cả sai lầm mà ta đã phạm phải từ trước tới giờ. Cuộc tìm kiếm này làm nảy sinh nhiều vấn đề.

* Đối với các phép đo, cả độ chính xác lẫn độ đúng đều được mô tả tốt nhất bằng *độ lệch tiêu chuẩn* của chúng, như đã giải thích ở Trang 458.

Ta có thể mô tả toàn bộ thiên nhiên trong một quyển sách không?

> Darum kann es in der Logik auch *nie* Überraschungen geben.*
> Ludwig Wittgenstein, *Tractatus*, 6.1251

Có thể có một ấn phẩm vật lý hoàn hảo, trong đó mô tả *toàn bộ* thiên nhiên hay không? Nếu có, nó cũng phải mô tả chính nó, sản phẩm riêng của nó – bao gồm độc giả và tác giả – và điều quan trọng nhất là nội dung của nó. Có thể có một cuốn sách như vậy không? Sử dụng khái niệm thông tin, ta có thể nói rằng một cuốn sách như vậy phải chứa mọi thông tin trong vũ trụ. Điều này có thể làm được không? Ta hãy kiểm tra các khả năng.

Nếu thiên nhiên đòi hỏi một cuốn sách dài *vô hạn* được mô tả đầy đủ thì điều hiển nhiên là ta không thể có một ấn phẩm như vậy. Trong trường hợp này, chỉ có thể mô tả thiên nhiên một cách gần đúng chứ không thể có một cuốn sách vật lý hoàn hảo.

Nếu thiên nhiên cần một lượng thông tin *hữu hạn* để mô tả nó thì có 2 tuỳ chọn. Một thì vì thông tin của vũ trụ quá lớn nên ta không thể tóm tắt chúng trong một quyển sách; ta không thể có một cuốn sách vật lý hoàn hảo. Tuỳ chọn 2 là vũ trụ chứa một lượng thông tin hữu hạn và ta có thể tóm tắt trong vài phát biểu ngắn. Điều này sẽ hàm ý rằng phần còn lại của vũ trụ sẽ không được thêm vào lượng thông tin đã có trong cuốn sách vật lý hoàn hảo.

Ta cũng nên nhớ rằng câu trả lời cho vấn đề này cũng bao hàm câu trả lời cho một vấn đề khác: não có thể chứa toàn bộ sự mô tả về thiên nhiên không. Nói cách khác, câu hỏi thực sự là: ta có thể hiểu được thiên nhiên không? Ta có thể đạt được mục đích tìm hiểu chuyển động hay không? Chúng ta thường tin vào điều này. Nhưng các lập luận vừa rồi khiến cho ta hoàn toàn tin rằng vũ trụ không chứa nhiều thông tin hơn những gì mà não của ta có thể hoặc ngay cả đã chứa đựng. Bạn nghĩ sao? Ta sẽ giải câu đố này
Quyển VI, trang 111
sau, trong cuộc hành trình. Từ đây đến đó, bạn hãy tự quyết định đi.

Một đôi điều sai về sự mô tả chuyển động của chúng ta

> Je dis seulement qu'il n'y a point d'espace, où il n'y a point de matière; et que l'espace lui-même n'est point une réalité absolue. **
> Leibniz

Ta đã mô tả thiên nhiên theo một cách khá đơn giản. *Các vật thể* là các thực thể có khối lượng, luôn định xứ trong không-thời gian. *Các trạng thái* là các tính chất thay đổi của vật, được mô tả bằng vị trí của vật trong không gian và thời điểm trong thời gian, bằng năng lượng và động lượng và bằng các đương lượng quay của chúng. *Thời gian* là mối liên hệ giữa các biến cố, được đo bằng đồng hồ. *Đồng hồ* là các thiết bị không bị nhiễu trong chuyển động và có vị trí mà ta có thể quan sát được. *Không gian* và vị trí là mối liên hệ giữa các vật, được đo bằng thước. *Thước đo mét* là các thiết bị mà hình dạng của nó có nhiều vạch chia, được cố định trong một tình trạng bất biến và ta có thể quan sát

* 'Vì vậy *không bao giờ* có sự bất ngờ trong luận lý.'
** 'Tôi chỉ nói rằng không có điểm nào trong không gian không có vật chất; và bản thân không gian không phải là một thực tại tuyệt đối.' Gottfried Wilhelm Leibniz đã viết điều này vào năm 1716, trong phần 61 của bức thư thứ 5 nổi tiếng ông đã gởi cho Clarke, phụ tá và phát ngôn viên của Newton. Newton và Clarke, giữ quan điểm ngược lại; như thường lệ, Leibniz đã đúng.

được. *Chuyển động* là sự thay đổi vị trí theo thời gian (nhân với khối lượng); nó có tính tất định, điều này không lạ, được bảo toàn (ngay cả khi qua đời) và bắt nguồn từ sự hấp dẫn và các tương tác khác.

Mặc dù cách mô tả này hoạt động khá tốt trong thực tế, nó vẫn chứa một định nghĩa lòng vòng. Bạn có thể tìm ra nó không? Một trong hai khái niệm chính yếu của chuyển động được định nghĩa nhờ khái niệm kia. Các vật lý gia đã làm việc trong khoảng 200 năm trong Cơ học cổ điển mà không nhận ra hay không muốn nhận ra tình trạng này. Ngay cả những tư tưởng gia không tin vào khoa học cũng không chỉ ra điều này. Một khoa học chính xác có thể đặt nền tảng trên một định nghĩa lòng vòng không? Dĩ nhiên là có và Vật lý đã làm tốt điều này cho tới nay. Đây có phải là một tình trạng không thể tránh khỏi về mặt nguyên tắc hay không?

Câu đố 719 s

Câu đố 720 s

Huỷ bỏ định nghĩa lòng vòng trong Vật lý Galilei là một trong những mục tiêu của phần hành trình còn lại. Việc tìm kiếm một giải pháp là giai đoạn kế tiếp của cuộc phiêu lưu. Để tìm được giải pháp, ta cần gia tăng một cách căn bản mức độ chính xác trong việc mô tả chuyển động.

Khi độ chính xác tăng lên, sự tưởng tượng sẽ bị hạn chế. Ta sẽ khám phá ra rằng nhiều loại chuyển động không thể xảy ra được. Chuyển động *bị giới hạn*. Thiên nhiên giới hạn tốc độ, kích thước, gia tốc, khối lượng, lực, công suất và nhiều đại lượng khác. Bạn chỉ nên đọc tiếp các phần khác của cuộc phiêu lưu nếu bạn đã chuẩn bị đánh đổi sự tưởng tượng cho sự chính xác. Đây không phải là một mất mát vì việc thám hiểm các công trình chính xác của thiên nhiên hoá ra sẽ quyến rũ hơn mọi điều mà ta có thể tưởng tượng được.

Tại sao ta có thể thực hiện được các phép đo?

Trong sự mô tả lực hấp dẫn đã có cho tới nay, điều mà mọi người đã học – hay nên học – ở trường là gia tốc liên hệ với khối lượng và khoảng cách qua công thức $a = GM/r^2$. Đó là tất cả. Nhưng sự đơn giản này có tính chất đánh lừa. Để kiểm tra xem mô tả này có đúng hay không, ta phải đo chiều dài và thời gian. Tuy vậy, ta *không thể* đo chiều dài và thời gian bằng thước và đồng hồ chỉ dựa trên tương tác hấp dẫn! Bạn hãy thử tưởng tượng ra một dụng cụ như vậy và bạn sẽ không tránh khỏi bực mình. Bạn luôn luôn cần một phương pháp phi hấp dẫn để khởi động và dừng đồng hồ đếm thời gian. Tương tự như vậy, khi bạn đo chiều dài, thí dụ như một cái bàn, bạn phải giữ một cái thước hay một thiết bị khác ở gần nó. Sự tương tác cần thiết để đặt thước và bàn thẳng hàng không thể là lực hấp dẫn.

Câu đố 721 s

Sự giới hạn tương tự cũng áp dụng cho việc đo khối lượng. Bạn hãy thử đo khối lượng bằng cách chỉ dùng lực hấp dẫn. Một cái cân bất kỳ đều cần các tương tác khác – thường là cơ, điện từ hay quang – để làm tròn chức năng của nó. Bạn có thể khẳng định rằng điều tương tự cũng áp dụng cho việc đo tốc độ và góc hay không? Tóm lại, bất kể ta dùng phương pháp nào,

Câu đố 722 s

Câu đố 723 s

▷ để đo vận tốc, chiều dài, thời gian và khối lượng, ta phải sử dụng các tương tác khác với lực hấp dẫn.

Khả năng đo của chúng ta chứng tỏ rằng lực hấp dẫn không phải là tất cả. Và thật ra, ta vẫn cần tìm hiểu về điện tích và màu sắc.

Tóm lại, Vật lý Galilei không giải thích được khả năng đo lường của chúng ta. Nó cũng không giải thích được sự hiện hữu của các tiêu chuẩn đo lường. Tại sao các vật có chiều dài cố định? Tại sao đồng hồ hoạt động đều đặn? Vật lý Galilei không thể giải thích được các điều này; ta sẽ cần đến Thuyết tương đối và Vật lý lượng tử.

Chuyển động có tính không giới hạn không?

Vật lý Galilei cho rằng chuyển động thẳng có thể tiếp tục mãi mãi. Nó đã ngầm giả sử rằng vũ trụ vô hạn trong không gian và thời gian. Thật vậy, tính hữu hạn dù theo nghĩa nào cũng mâu thuẫn với mô tả của Galilei về chuyển động. Mặt khác, từ sự quan sát ta

Câu đố 724 e

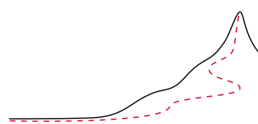
đã biết rằng vũ trụ *không phải là* vô hạn: nếu nó vô hạn, đêm sẽ không tối đen.

Vật lý Galilei cũng cho rằng tốc độ có thể nhận mọi giá trị nhưng sự hiện hữu của tốc độ vô hạn trong thiên nhiên sẽ không cho ta định nghĩa được dòng thời gian. Đồng hồ sẽ không hoạt động được. Nói cách khác, cách mô tả thiên nhiên mà cho phép tốc độ vô hạn thì không chính xác. Sự chính xác và các phép đo đòi hỏi sự giới hạn.

Vì Vật lý Galilei không để ý tới các giới hạn chuyển động nên nó không đúng, tức là sai.

Để đạt được độ chính xác cao nhất và tìm được sự mô tả chuyển động đúng, ta cần khám phá tất cả các *giới hạn của chuyển động*. Cho tới lúc này ta đã khám phá được một giới hạn: có entropy nhỏ nhất trong thiên nhiên. Bây giờ ta chuyển sang một giới hạn khác, hấp dẫn hơn: giới hạn tốc độ của năng lượng, vật thể và tín hiệu. Để quan sát và tìm hiểu giới hạn về tốc độ, quyển kế tiếp sẽ tìm hiểu về chuyển động nhanh nhất của năng lượng, vật thể và tín hiệu mà ta đã biết: chuyển động của ánh sáng.





Chương 16

Ký hiệu và quy ước

Trang 452

Những khái niệm mới được chỉ rõ trong cả quyển sách bằng *chữ in nghiêng*. Ta có thể tham khảo các định nghĩa mới từ Bảng chỉ mục. Trong sách này, ta thường sử dụng đơn vị SI; chúng được định nghĩa trong Phụ lục 17. Các kết quả thực nghiệm được trích dẫn với độ chính xác giới hạn, thường chỉ 2 số thập phân, vì như vậy cũng đã đủ cho mục đích của chúng ta. Các giá trị tham khảo có độ chính xác cao đối với các đại lượng quan trọng cũng có thể tìm được trong Phụ lục 17. Các giá trị chính xác bổ sung trong các hệ vật lý phức hợp được cho trong quyển V.

Quyển V, trang 343

Nhưng thông tin trong quyển này có sử dụng một số quy ước bổ sung đáng để chúng ta xem qua.

Mẫu tự Latin

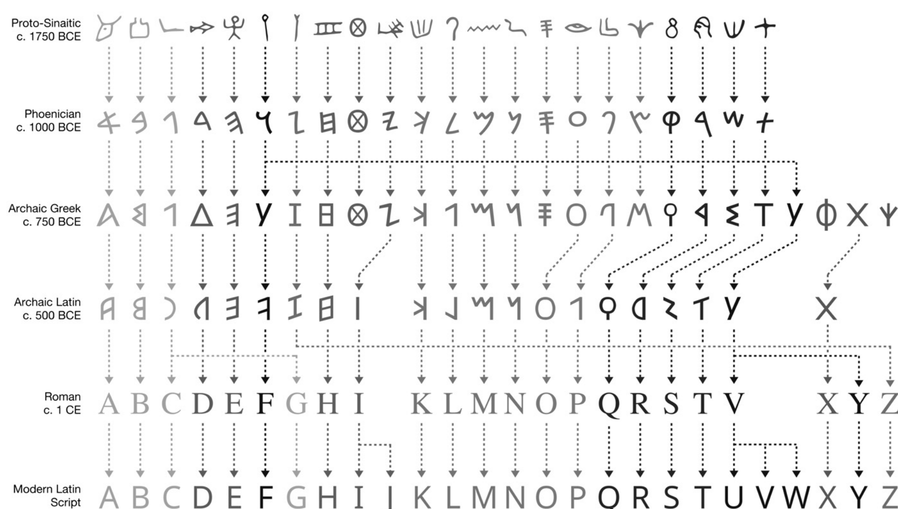
Xem 350

> “Những điều mà người ta không dụng công để viết thì thường là đọc rất chán.”
>
> Samuel Johnson

Sách là tập hợp các ký hiệu. *Chữ viết* có lẽ do người Sumer ở Mesopotamia phát minh trong khoảng từ năm 3400 đến năm 3300 BCE (mặc dù cũng có thể có các khả năng khác đã được bàn đến). Như vậy phải mất trên 1000 năm trước khi người ta bắt đầu sử dụng các ký hiệu để biểu diễn âm thanh thay vì các khái niệm: đây là cách mà bảng mẫu tự đầu tiên được tạo ra. Điều này xảy ra trong khoảng từ năm 2000 đến năm 1600 BCE (có lẽ là ở Ai Cập) và dẫn tới mẫu tự Semit. Việc sử dụng một bảng mẫu tự có nhiều điều tiện lợi đến nỗi nó nhanh chóng được tất cả các nền văn hoá lân cận noi theo, mặc dù có khác nhau về hình thức. Kết quả là bảng mẫu tự Semit là tổ tiên của mọi bảng mẫu tự được sử dụng trên thế giới.

Quyển sách này được viết bằng mẫu tự Latin. Mới nhìn qua thì hình như cách phát âm của nó *không thể* giải thích dưới dạng chữ in, khác với cách phát âm của các mẫu tự khác hay của Mẫu tự phiên âm quốc tế (IPA). (Chúng cũng có thể được giải thích bằng cách sử dụng mẫu tự của văn bản chính). Tuy vậy, về mặt nguyên tắc thì ta có thể viết một văn bản mô tả chính xác cách chuyển động của môi, miệng và lưỡi cho từng ký tự, có sử dụng các khái niệm vật lý nếu cần. Sự mô tả cách phát âm mà ta thấy trong tự điển đã sử dụng phương pháp này một cách gián tiếp: chúng dựa vào sự nhớ lại cách phát âm các từ hay âm đã tìm thấy trong thiên nhiên.

Về mặt lịch sử, mẫu tự Latin dẫn xuất từ tiếng Etrusca, đến lượt nó lại dẫn xuất từ mẫu tự Hy Lạp. Một tổng quan được cho trong Hình 302. Có 2 dạng mẫu tự Latin chính.



HÌNH 302 Tóm tắt về lịch sử của mẫu tự Latin (© Matt Baker at usefulcharts.com).

Mẫu tự Latin *cổ*,
được sử dụng từ thế kỷ thứ 6 BCE trở đi:

A B C D E F Z H I K L M N O P Q R S T V X

Mẫu tự Latin *cổ điển*,
được sử dụng từ thế kỷ thứ 2 BCE đến thế kỷ 11:

A B C D E F G H I K L M N O P Q R S T V X Y Z

Ký tự G được thêm vào ở thế kỷ thứ 3 BCE do một người La Mã đầu tiên mở trường có thu phí, Spurius Carvilius Ruga. Ông thêm một gạch ngang vào chữ C và thay cho chữ Z, không được dùng trong tiếng Latin nữa. Vào thế kỷ thứ 2 BCE, sau khi chinh phục Hy Lạp, người La Mã gộp thêm chữ Y và Z từ mẫu tự Hy Lạp vào cuối bảng mẫu tự (do đó tái sử dụng một cách hiệu quả chữ Z) để có thể viết chữ Hy Lạp. Mẫu tự Latin cổ điển ổn định trong hàng ngàn năm sau đó.*

Mẫu tự Latin cổ điển trải rộng khắp châu Âu, châu Phi và châu Á theo các cuộc chinh phạt của người La Mã; nhờ tính đơn giản nó bắt đầu được sử dụng để viết trong nhiều ngôn ngữ khác. Phần lớn các mẫu tự 'Latin' hiện đại bao gồm một vài chữ khác. Chữ W

* Để gặp những người nói và viết tiếng Latin, hãy ghé trang www.alcuinus.net.

được đưa vào ở thế kỷ 11 trong tiếng Pháp và rồi được phần lớn các ngôn ngữ châu Âu chấp nhận.* Chữ U được đưa ra vào giữa thế kỷ 15 ở Ý, chữ J vào cuối thế kỷ đó ở Tây Xem 351 Ban Nha, để phân biệt những âm trước đó được biểu diễn bằng V và I. Sự phân biệt tỏ ra thành công và trở nên phổ biến trong phần lớn các ngôn ngữ châu Âu vào thế kỷ 16. Sự rút gọn æ và œ xảy ra từ thời Trung cổ. Mẫu tự Đức bao gồm *sharp s*, được viết là ß, rút gọn của 'ss' hay 'sz' và mẫu tự Bắc Âu có thêm *thorn*, được viết là Þ or þ, và *eth*, được Xem 352 viết là Ð hay ð, cả hai đều lấy từ chữ futhorc, và các dấu hiệu khác. **

Các ký tự thường không được sử dụng trong chữ Latin cổ điển; chúng chỉ phát sinh từ thời Trung cổ, thời Charlemagne. Giống như phần lớn các ký tự có dấu trọng âm như ê, ç hay ä, cũng được sử dụng lần đầu tiên từ thời Trung cổ, các ký tự thường được thêm vào để rút ngắn các từ nhằm tiết kiệm diện tích giấy vào thời đó khá đắt.

> "Ngoài chó, quyển sách là một người bạn trung thành nhất của người. Bên trong con chó thì tối quá nên ta chẳng đọc được gì."
>
> Groucho Marx

Mẫu tự Hy Lạp

Mẫu tự Hy Lạp là trung tâm của nền văn hoá và văn minh hiện đại. Nó là nguồn gốc của mẫu tự Etrusca, dẫn tới mẫu tự Latin. Mẫu tự Hy Lạp thì dẫn xuất từ tiếng Phoenicia Xem 354 hay mẫu tự bắc Semite trong thế kỷ thứ 10 BCE. Mẫu tự Hy Lạp, lần đầu tiên bao gồm các ký tự cho nguyên âm, không có trong mẫu tự Semite (và vẫn còn thiếu).

Trong mẫu tự Phoenicia và nhiều dẫn xuất của nó, như mẫu tự Hy Lạp, mỗi chữ có một tên riêng. Điều này khác với mẫu tự Etrusca và Latin. Tên 2 ký tự Hy Lạp đầu tiên dĩ nhiên là nguồn gốc của thuật ngữ *alphabet*.

Trong thế kỷ thứ 10 BCE, mẫu tự Ionia hay mẫu tự Hy Lạp *cổ* (phương đông) chỉ có các chữ hoa. Vào thế kỷ thứ 6 BCE nhiều chữ bị bỏ, trong khi một số chữ mới và phiên bản chữ thường được thêm vào, tạo ra mẫu tự Hy Lạp *cổ điển*. Sau đó dấu trọng âm, chỉ số dưới và dấu bật hơi được thêm vào. Bảng 53 cũng cho giá trị mà các ký tự biểu thị khi chúng được dùng để ghi số. Đối với cách sử dụng đặc biệt này, các ký tự lỗi thời được giữ lại trong thời kỳ cổ điển; như vậy chúng cũng có dạng chữ thường.

Mẫu tự Latin tương ứng trong bảng là mẫu tự chuẩn cổ điển, được sử dụng để viết các từ Hy Lạp. Vấn đề *phát âm* đúng tiếng Hy Lạp đã được các chuyên gia tranh luận quyết liệt; các phát âm truyền thống của *Erasmus* không tương ứng với các kết quả của các nghiên cứu ngôn ngữ học hay tiếng Hy Lạp hiện đại. Trong tiếng Hy Lạp cổ điển, âm thanh do cừu tạo ra là βη–βη. (cách phát âm (sai) của Erasmus thì cho là η hẹp; cách

---

* Ở Thổ Nhĩ Kỳ, đến 2013, bạn vẫn có thể bị mời ra toà nếu bạn sử dụng các ký tự w, q hay x trong một bức thư chính thức; những chữ này chỉ có trong tiếng Kurd chứ không có trong tiếng Thổ Nhĩ Kỳ. Việc sử dụng chúng là thái độ 'phi Thổ, ủng hộ khủng bố và có thể bị xử phạt theo luật định. Không rõ các thầy dạy Vật lý và Toán học đối phó với luật lệ này như thế nào.

** Chữ Rune, còn được gọi là *Futhark* hay *Futhorc*, một kiểu mẫu tự được sử dụng trong thời Trung cổ ở các nước Đức, Anglo–Saxon và Bắc Âu, cõ lẽ cũng dẫn xuất từ mẫu tự Etrusca. Cái tên này dẫn xuất từ 6 chữ đầu tiên: f, u, th, a (hay o), r, k (hay c). Chữ thứ 3 là thorn được đề cập ở trên; nó thường được viết là 'Y' trong tiếng Anh cổ, như trong 'Ye Olde Shoppe.' Từ mẫu tự rune tiếng Anh cổ cũng lấy chữ *wyn* để biểu Xem 353 diễn âm 'w' và eth đã đề cập ở trên. (Các chữ khác được sử dụng trong tiếng Anh cổ – không xuất phát từ futhorc – là *yogh*, một biến thể cổ của g, và chữ ghép æ hay Æ, được gọi là *ash* và œ hay Œ được gọi là *ethel*.)

BẢNG 53 Bảng mẫu tự Hy Lạp cổ và cổ điển, cùng với các ký tự Latin và ký số Ấn Độ tương ứng.

Cổ	Cổ điển		Tên	Tương ứng	
Α	Α	α	alpha	a	1
Β	Β	β	beta	b	2
Γ	Γ	γ	gamma	g, n[1]	3
Δ	Δ	δ	delta	d	4
Ε	Ε	ε	epsilon	e	5
F ϝ, ϛ			digamma, stigma[2]	w	6
Ζ	Ζ	ζ	zeta	z	7
Η	Η	η	eta	e	8
Θ	Θ	θ	theta	th	9
Ι	Ι	ι	iota	i, j	10
Κ	Κ	κ	kappa	k	20
Λ	Λ	λ	lambda	l	30
Μ	Μ	μ	mu	m	40
Ν	Ν	ν	nu	n	50
Ξ	Ξ	ξ	xi	x	60
Ο	Ο	ο	omicron	o	70
Π	Π	π	pi	p	80
Ϙ ϙ, ϟ			qoppa[3]	q	90
Ρ	Ρ	ρ	rho	r, rh	100
Σ	Σ	σ, ς	sigma[4]	s	200
Τ	Τ	τ	tau	t	300
	Υ	υ	upsilon	y, u[5]	400
	Φ	φ	phi	ph, f	500
	Χ	χ	chi	ch	600
	Ψ	ψ	psi	ps	700
	Ω	ω	omega	o	800
Ͳ ϡ			sampi[6]	s	900

Các ký tự cổ xưa theo vùng miền yot, sha và san không được bao gồm trong bảng. Ký tự san là hình thức nguyên thuỷ của sampi.
1. Chỉ dùng nếu trước các velar, tức là trước kappa, gamma, xi và chi.
2. 'Digamma' là tên dùng cho dạng hình chữ F. Người ta dùng nó chủ yếu là một ký tự (nhưng đôi khi dưới dạng chữ thường, là một số), trong khi hình dạng và tên 'stigma' chỉ được dùng cho số. Cả hai đều dẫn xuất từ các hình dạng tương ứng; đúng ra stigma là phiên bản trung cổ, kiểu chữ to của digamma. Tên 'stigma' dẫn xuất từ việc chữ trông giống một dấu sigma với một chữ tau gắn bên dưới nó – nhưng không may là không phải trong mọi font hiện đại. Tên nguyên thuỷ, cũng cho luôn cách đọc, là 'waw'.
3. Phiên bản của qoppa trông như một chữ z quay và đảo ngược lại vẫn còn, dù hiếm hoi, được sử dụng trong tiếng Hy Lạp hiện đại. Unicode gọi phiên bản này là 'koppa'.
4. Biến thể thứ 2 của sigma chỉ được dùng ở cuối các từ.
5. Uspilon tương đương với 'u' chỉ khi nó là chữ thứ 2 trong nhị trùng âm.
6. Trong thời cổ, chữ sampi nằm giữa pi và qoppa.

phát âm Hy Lạp thì khác chỗ chữ β, mà hiện nay đọc là 'v', và η, hiện nay đọc là 'i:' – 'i' dài.) Điều hiển nhiên là cách phát âm chữ Hy Lạp thay đổi theo vùng miền và thời gian. Đối với tiếng Hy Lạp Athens, phương ngữ chính được nói trong thời kỳ cổ điển, vấn đề đã được giải quyết. Nghiên cứu về ngôn ngữ học đã chứng tỏ rằng chi, phi và theta bật hơi nhẹ hơn trong tiếng Anh và nghe giống như các âm đầu của 'cat', 'perfect' và 'tin'; ngoài ra, zeta hình như được phát âm giống như 'zd' trong 'buzzed'. Về nguyên âm, khác với truyền thống, epsilon thì khép và ngắn trong khi eta thì mở và dài; omicron thì khép và ngắn trong khi omega thì mở rộng và dài, và upsilon thực ra nghe giống 'u' của tiếng Pháp hay 'ü' của tiếng Đức.

Nguyên âm Hy Lạp có thể có *dấu bật hơi* mạnh hay nhẹ, *chỉ số dưới* và *dấu* sắc, huyền hay mũ. Dấu bật hơi – cũng được sử dụng trên ρ – xác định là chữ này có bật hơi hay không. Dấu trọng âm, được diễn giải là trọng âm trong cách phát âm Erasmus, thật ra là

biểu diễn cao độ. Tiếng Hy Lạp cổ điển có thể đã có đến 3 dấu bổ sung này cho mỗi ký tự; tiếng Hy Lạp hiện đại không có quá 1 dấu.

Một hậu duệ khác của mẫu tự Hy Lạp* là *mẫu tự Cyril*, được sử dụng với các biến thể nhỏ trong nhiều ngôn ngữ Slave như tiếng Nga và Bulgary. Không có quy tắc chuyển tự chuẩn từ tiếng Cyril sang tiếng Latin, vì vậy cùng một tên Nga được đọc khác nhau trong các quốc gia khác nhau hay ngay cả trong cùng một quốc gia trong các trường hợp khác nhau.

BẢNG 54 Phần đầu của mẫu tự Do Thái abjad.

Ký tự	Tên	Tương đương	
א	aleph	a	1
ב	beth	b	2
ג	gimel	g	3
ד	daleth	d	4
etc.			

Mẫu tự Do Thái và các hệ thống chữ viết khác

Mẫu tự Phoenicia cũng là mẫu tự gốc của các phụ âm Do Thái hay *abjad*. Năm ký tự đầu được cho trong Bảng 54. Chỉ có chữ aleph thường được sử dụng trong toán học mặc dù người ta đã đề nghị nhiều chữ khác.

Xem 355

Quyển III, trang 287

Trên thế giới có khoảng 100 hệ thống chữ viết đang được sử dụng. Các chuyên gia phân chúng thành 5 nhóm. *Mẫu tự âm vị*, như Latin hay Hy Lạp, có một ký hiệu cho mỗi phụ âm và nguyên âm. *Abjad* hay mẫu tự phụ âm, như Do Thái hay Ả Rập có một ký hiệu cho mỗi phụ âm (đôi khi có một số nguyên âm như aleph), và không viết (phần lớn) các nguyên âm; đa số các mẫu tự abjad được viết từ phải qua trái. *Abugida*, còn gọi là *mẫu tự âm tiết* hay *alphasyllabary*, như tiếng Bali, Miến Điện, Devanagari, Tagalog, Thái, Tây Tạng hay Lào, viết các phụ âm và nguyên âm; mỗi phụ âm có một nguyên âm cố hữu có thể được đổi thành âm khác bằng các dấu phụ. *Chữ tượng thanh âm tiết (syllabary)*, như Hiragana hay Ethiopic, đều có một ký hiệu cho mỗi âm tiết. Sau cùng, *Hệ thống chữ phức hợp*, như chữ tượng hình Trung quốc, Maya hay Ai Cập, sử dụng ký hiệu có cả âm lẫn nghĩa. Hệ chữ viết có thể có các dòng chữ từ phải qua trái, từ dưới lên trên và có thể đếm các trang sách ngược chiều với quyển sách này.

Mặc dù có khoảng 6000 ngôn ngữ trên Trái đất, hiện nay chỉ có khoảng 100 hệ thống chữ viết đang được sử dụng. Khoảng 50 hệ thống chữ viết khác không còn được sử dụng

Xem 356

* Mẫu tự Hy Lạp cũng là nguồn gốc của *mẫu tự Gothic*, được Wulfila định nghĩa cho ngôn ngữ Gothic vào thế kỷ thứ 4, cũng dùng một vài ký hiệu từ tiếng Latin và chữ futhorc.

Đừng nhầm mẫu tự Gothic với *chữ Gothic*, một kiểu mẫu tự *Latin* được sử dụng trên khắp châu Âu từ thế kỷ 11 trở đi. Ở các quốc gia Latin, chữ Gothic được thay thế bằng chữ *Antiqua* vào thế kỷ 16 là tổ tiên của kiểu chữ trong sách này. Ở các quốc gia khác, chữ Gothic còn được sử dụng lâu hơn. Chúng được sử dụng trong các bản in và viết tay ở Đức cho đến năm 1941, khi chính quyền Quốc xã bỗng nhiên huỷ bỏ chúng để chiều theo sự đòi hỏi của nhân dân. Chúng vẫn còn được sử dụng rải rác khắp châu Âu. Trong nhiều sách Toán Lý, chữ Gothic được sử dụng để ký hiệu các đại lượng vector.

nữa.*Đối với công thức Vật lý và Toán học, hệ ký hiệu được sử dụng trong sách này dựa trên mẫu tự Latin và Hy Lạp, viết từ trái sang phải và từ trên xuống dưới theo tiêu chuẩn chung của thế giới. Nó được sử dụng độc lập với hệ chữ viết của quyển sách chứa nó.

Số và chữ số Ấn Độ

Cả chữ số và phương pháp sử dụng trong sách này để viết các con số đều bắt nguồn từ Ấn Độ. Các chữ số Ấn Độ xuất hiện khoảng từ năm 600 BCEvà được các toán gia Ả Rập mang tới Địa Trung Hải trong thời Trung cổ. Hệ thống số được sử dụng trong sách này trẻ hơn các mẫu tự rất nhiều. Số Ấn Độ được Leonardo of Pisa, hay Fibonacci, phổ biến ở châu Âu ** qua quyển sách của ông *Liber Abaci* hay 'Sách tính toán', xuất bản năm 1202. Quyển này đã cách mạng hoá Toán học. Người ta chỉ cần một tờ giấy và một cây viết (viết chì chưa được phát minh) là có thể tính toán và viết ra những con số lớn mà lý luận cho phép hoặc lớn hơn rồi tính toán với chúng. Quyển sách của Fibonacci đã bắt đầu như sau:

Xem 357

> Novem figure indorum he sunt 9 8 7 6 5 4 3 2 1. Cum his itaque novem figuris, et cum hoc signo 0, quod arabice zephirum appellatur, scribitur quilibet numerus, ut inferius demonstratur.***

Phương pháp viết số của Ấn Độ, *hệ thống số Ấn Độ*, đưa ra hai sự cách tân: một lớn, *hệ thống số theo vị trí* và một nhỏ, số 0. **** Hệ thống số theo vị trí được Fibonacci mô tả hiệu quả đến nỗi nó hoàn toàn thay thế *Hệ thống số La Mã* trước đó, hệ thống viết 1996 là IVMM hay MCMIVC hay MCMXCVI, cũng như *Hệ thống số Hy Lạp*, trong đó các ký tự Hy Lạp được dùng để viết số theo lối trình bày trong Bảng 53, như viết 1996 là ͵αϡϙϛʹ.
So với các hệ này, số Ấn Độ có tính 'công nghệ' hơn rất nhiều.

Hệ thống số Ấn Độ tỏ ra tiện dụng đến nỗi việc tính toán có thể diễn ra trên giấy mà không cần *bàn tính* (đã trở nên vô dụng). Bàn tính vẫn còn được sử dụng tại nhiều quốc gia ở châu Á, châu Mỹ và châu Phi nơi người ta không dùng hệ thống số theo vị trí để viết số. Nó cũng hữu dụng đối với người khiếm thị.

Hệ thống số Ấn Độ cũng loại bỏ nhu cầu về các hệ thống biểu diễn số bằng ngón tay. Các hệ thống cổ đó có thể biểu diễn số lên tới 10 000 hay hơn, chỉ còn lại một dấu vết: thuật ngữ 'digit' (chữ số), dẫn xuất từ tiếng Latin có nghĩa là ngón tay.

Sức mạnh của hệ thống số theo vị trí thường bị bỏ quên. Chỉ có hệ thống số theo vị

* Một website có thiết kế rất tốt về chủ đề này là www.omniglot.com. Các hệ chữ viết chính hiện nay và trong quá khứ đều được mã hoá theo chuẩn Unicode, hiện nay có 52 hệ chữ viết. Hãy ghé thăm www.unicode.org. Một thí dụ kỳ dị về một hệ chữ viết là bảng mẫu tự do George Bernard Shaw, trình bày ở trang en.wikipedia.org/wiki/Shavian_alphabet.

** Leonardo di Pisa, hay Fibonacci (b. *c.* 1175 Pisa, d. 1250 Pisa), là một nhà toán học quan trọng nhất vào thời đó.

*** 'Chín chữ số của Ấn Độ là: 9 8 7 6 5 4 3 2 1. Bằng 9 con số này cùng với ký hiệu 0 mà trong tiếng Ả Rập được gọi là zephirum, người ta có thể viết được một con số bất kỳ, như được chứng minh dưới đây.'

**** Như vậy ta gọi các chữ số từ 0 tới 9 bằng tên số *Arab* là *không* đúng. Cả chữ số sử dụng trong sách Ả Rập hay trong sách Latin như trong quyển sách này đều dẫn xuất từ *chữ số Ấn Độ*. Bạn có thể tự kiểm tra điều này: chỉ có các chữ số 0, 2, 3 và 7 là giống với chữ được dùng trong văn bản Ả Rập và như vậy chỉ được dùng khi chúng được quay theo chiều kim đồng hồ một góc 90°.

trí cho phép ta tính nhẩm và tạo ra các thiên tài tính toán.*

Các ký hiệu dùng trong sách này

> “ Để tránh lặp lại một cách nhàm chán từ "bằng", tôi thường đặt một cặp đoạn thẳng song song dài bằng nhau như sau =, vì không có 2 vật nào có thể bằng nhau hơn. Robert Recorde**

Ngoài chữ và số, sách vật lý còn chứa các ký hiệu khác. Phần lớn các ký hiệu đã được phát triển hàng trăm năm nên chỉ có các ký hiệu rõ ràng và đơn giản nhất còn được sử dụng. Trong cuộc du hành này, các ký hiệu được sử dụng như các chữ viết tắt của các đại lượng *vật lý* được lấy từ mẫu tự Latin hay Hy Lạp và luôn luôn được định nghĩa theo ngữ cảnh mà nó được sử dụng. Các ký hiệu biểu thị các đơn vị, hằng số và các hạt được Trang 452 định nghĩa trong Phụ lục 17 và trong Phụ lục 14 của quyển V. Các ký hiệu trong sách này Xem 355 là các ký hiệu thông dụng trong thực tế và trong việc giảng dạy Vật lý.

Cũng có một tiêu chuẩn quốc tế dành cho các ký hiệu trong công thức Vật lý – ISO EN 80000, trước kia là ISO 31 – nhưng nó đắt đỏ một cách kỳ cục, khá khó hiểu và vô dụng không ngờ: các ký hiệu của nó được sử dụng tuỳ tiện và không gắn kết với một nơi nào, kể cả trong tiêu chuẩn của nó! ISO 80000 là thí dụ tiêu biểu về sự thất bại của thói quan liêu.

Các ký hiệu *toán* sử dụng trong sách này, đặc biệt đối với các phép toán và quan hệ, được cho trong danh sách sau đây, cùng với nguồn gốc lịch sử của chúng. Các chi tiết về Xem 359 lịch sử của chúng đã được nhiều học giả nghiên cứu rộng rãi.

BẢNG 55 Lịch sử các ký hiệu và biểu hiệu toán học.

Ký hiệu	Ý nghĩa	Nguồn gốc
+, −	cộng, trừ	Johannes Widmann 1489; dấu cộng dẫn xuất từ chữ Latin ‘et’.
$\sqrt{}$	đọc là ‘căn bậc 2’	Christoff Rudolff sử dụng năm 1525; Dấu này phát triển từ 1 cái chấm.
=	bằng	Robert Recorde 1557
{ }, [ ], ( )	ký hiệu nhóm	bắt đầu được sử dụng vào thế kỷ 16
>, <	lớn hơn, nhỏ hơn	Thomas Harriot 1631
×	nhân	Ở Anh *c.* 1600, William Oughtred phổ biến 1631
a^n	a luỹ thừa n, $a \cdot ... \cdot a$ (n thừa số)	René Descartes 1637

* Hiện nay, thời gian ngắn nhất để tìm ra căn 13 của một số nguyên có 100 chữ số mà kết quả có 8 chữ số là dưới 4 s và 70.2 s đối với số có 200 chữ số, với kết quả có 16 chữ số. Cả 2 kỷ lục đều của Alexis Lemaire. Để Xem 358 có thêm thông tin về các câu chuyện và phương pháp của các thiên tài tính toán, hãy xem phần sách tham khảo.

** Robert Recorde (b. *c.* 1510 Tenby, d. 1558 London), Toán gia và Y sỹ; ông mất trong vòng lao lý vì nợ nần. Trích dẫn trên lấy từ tác phẩm *The Whetstone of Witte*,1557. Một hình ảnh của phần trích dẫn có thể tìm thấy tại en.wikipedia.org/wiki/Equals_sign. Người ta thường cho rằng phần trích dẫn này là lời giới thiệu đầu tiên của dấu = ; việc đòi hỏi công nhận các toán gia Ý sử dụng dấu = trước Recorde không có bằng Xem 359 chứng đủ sức thuyết phục.

BẢNG 55 Lịch sử các ký hiệu và biểu hiệu toán học (tiếp theo)

Ký hiệu	Ý nghĩa	Nguồn gốc
x, y, z	toạ độ, ẩn số	René Descartes 1637
$ax+by+c=0$	hằng số, phương trình với các ẩn số	René Descartes 1637
∞	vô cực	John Wallis 1655
$\mathrm{d}/\mathrm{d}x$, $\mathrm{d}x$, $\int y\,\mathrm{d}x$	đạo hàm, vi phân, tích phân	Gottfried Wilhelm Leibniz 1675
:	chia	Gottfried Wilhelm Leibniz 1684
$\cdot$	nhân	Gottfried Wilhelm Leibniz *c.* 1690
a_1, a_n	chỉ số	Gottfried Wilhelm Leibniz *c.* 1690
$\sim$	đồng dạng với	Gottfried Wilhelm Leibniz *c.* 1690
π	số của vòng tròn, 4 arctan 1	William Jones 1706
φx	hàm của x	Johann Bernoulli 1718
fx, $f(x)$	hàm của x	Leonhard Euler 1734
e	$\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{n!}=\lim_{n\to\infty}(1+1/n)^n$	Leonhard Euler 1736
$f'(x)$	đạo hàm tại x	Giuseppe Lagrangia 1770
Δx, $\sum$	hiệu, tổng	Leonhard Euler 1755
$\prod$	tích	Carl Friedrich Gauss 1812
i	đơn vị ảo, $+\sqrt{-1}$	Leonhard Euler 1777
$\neq$	khác với	Leonhard Euler thế kỷ 18
$\partial/\partial x$	đạo hàm riêng phần, đọc giống ‘$\mathrm{d}/\mathrm{d}x$’	nó dẫn xuất từ dạng cong của ‘d’ hay của chữ ‘dey’ của mẫu tự Cyril do Adrien-Marie Legendre năm 1786 và được Carl Gustav Jacobi phổ biến năm 1841
$n!$	giai thừa, $1\cdot 2\cdot ...\cdot$	Christian Kramp 1808
Δ	toán tử Laplace	Robert Murphy 1833
$\lvert x\rvert$	giá trị tuyệt đối	Karl Weierstrass 1841
∇	đọc là ‘nabla’ (hay ‘del’)	do William Hamilton đưa ra năm 1853 và Peter Tait năm 1867, được đặt tên theo hình dạng của một nhạc cụ cổ Ai Cập
$\subset, \supset$	bao hàm (tập hợp)	Ernst Schröder 1890
$\cup, \cap$	hội và giao của tập hợp	Giuseppe Peano 1888
$\in$	phần tử của	Giuseppe Peano 1888
$\otimes$	tích nhị nguyên hay tích tensor hay tích ngoài	không biết
$\langle\psi\rvert$, $\lvert\psi\rangle$	vector trạng thái bra và ket	Paul Dirac 1930
$\emptyset$	tập hợp trống	André Weil là thành viên của nhóm Nicolas Bourbaki đầu thế kỷ 20
$[x]$	đơn vị đo của một đại lượng x	thế kỷ 20

Các dấu khác có nguồn gốc phức tạp hơn. Dấu & là cách viết gọn của chữ *et* Latin có

Xem 360 nghĩa là 'và' thường thấy rõ hơn trong các biến thể khác của nó, như &, dạng chữ nghiêng thường.

Mỗi dấu chính tả được sử dụng trong câu với các mẫu tự Latin hiện đại, như , . ; : ! ? ' ' » « – ( ) ... có lịch sử riêng của nó. Nhiều dấu là từ tiếng Hy Lạp cổ nhưng dấu hỏi là từ Xem 361 triều đại Charlemagne và dấu chấm than xuất hiện đầu tiên trong thế kỷ 16.* Dấu @ hay *at-sign* có lẽ bắt nguồn từ chữ viết tắt từ thời Trung cổ của chữ Latin *ad*, có nghĩa là 'at', Xem 362 giống như cách mà dấu & biến đổi từ chữ Latin *et*. Trong những năm gần đây, các *smiley* :-) và các biến thể của nó đã trở nên phổ biến. Đúng ra smiley là phiên bản mới của 'biểu tượng mỉa mai' được nhà thơ Alcanter de Brahm (b. 1868 Mulhouse, d. 1942 Paris) đưa ra năm 1899 nhưng không thành công.

Dấu chương hồi § có mặt từ thế kỷ 13 ở bắc Ý, như đã được nhà cổ ngữ học Paul Xem 363 Lehmann chứng minh. Nó dẫn xuất từ phiên bản cách điệu của chữ C hoa cho từ *capitulum*, tức là 'đầu trang sách nhỏ' hay 'chương.' Dấu này xuất hiện lần đầu trong các tài liệu pháp luật, nơi mà nó vẫn còn được dùng và rồi lan sang các lĩnh vực khác.

Dấu đoạn ¶ dẫn xuất từ một dạng cổ đơn giản hơn trông giống như chữ Hy Lạp Γ, được sử dụng trong các thủ bản của người Hy Lạp cổ cho tới thời Trung cổ được dùng để đánh dấu phần đầu của đoạn văn. Trong thời Trung cổ nó có dạng hiện đại, có lẽ vì chữ c của từ *caput* đã được thêm vào trước nó.

Xem 364 Một trong những dấu quan trọng nhất, *dấu cách* để tách các từ, bắt nguồn từ ảnh hưởng của người Celt và người Đức khi họ bắt đầu sử dụng mẫu tự Latin. Nó trở nên bình thường trong khoảng giữa thế kỷ 9 và thế kỷ 13, tuỳ theo ngôn ngữ.

Lịch

Có nhiều cách ghi dấu thời gian khác nhau tuỳ theo nền văn minh. Lịch thông dụng nhất, được sử dụng trong sách này cũng là lịch vô lý nhất, vì nó là một sự thoả hiệp giữa các thế lực chính trị khác nhau.

Trong thời cổ, các thực thể định xứ độc lập, như các bộ lạc hay đô thị, thích *âm lịch*, vì tính thời gian theo mặt trăng dễ thiết lập theo địa phương hơn. Điều này dẫn tới việc sử dụng tháng là đơn vị của lịch. Các quốc gia tập quyền lại bắt sử dụng *dương lịch*, căn cứ theo năm. Dương lịch cần các thiên văn gia và thẩm quyền trung ương để cung cấp tài chính cho họ. Vì những lý do khác nhau, nông dân, chính trị gia, người thu thuế, thiên văn gia và một số, nhưng không phải là tất cả, các nhóm tôn giáo đều muốn lịch theo năm mặt trời cho thật chính xác. Sự thoả hiệp cần thiết giữa ngày và năm là nguồn gốc của ngày nhuận. Sự thoả hiệp giữa tháng và năm dẫn tới chiều dài của các tháng khác nhau; chúng thay đổi theo loại lịch. Lịch thông dụng nhất sử dụng cấu trúc năm–tháng được Caesar thiết lập cách nay 2000 năm và do đó được gọi là *lịch Julian*.

Hệ thống này bị phá huỷ chỉ sau đó vài năm: tháng 8 được kéo dài tới 31 ngày khi nó được đặt theo tên Augustus. Trước đó nó chỉ có 30 ngày; nhưng để chứng tỏ rằng Augustus cũng quan trọng như Caesar, có tên đặt cho tháng 7, chiều dài mọi tháng ở phân nửa năm sau của năm đều bị đổi và tháng 2 bị rút ngắn thêm 1 ngày.

Xem 365 *Tuần* là phát minh của người Babylon. Có một ngày trong tuần Babylon là 'xấu' hay 'xui', nên tốt nhất là không làm gì vào ngày đó. Tuần hiện đại có một ngày nghỉ là do ảnh hưởng của sự mê tín đó. (Cách mà sự mê tín chiêm tinh và thiên văn học hợp tác với

* Về dấu ngoặc hãy xem quyển sách thú vị của J. Lennard, *But I Digress*, Oxford University Press, 1991.

Trang 221 nhau để xác định thứ tự các ngày trong tuần được giải thích trong phần lực hấp dẫn.) Mặc dù đã có 3000 năm tuổi, tuần chỉ được đưa vào lịch Julian vào khoảng năm 300, là những ngày tàn của Đế quốc La Mã phương tây. Sự thay đổi sau cùng trong lịch Julian xảy ra giữa năm 1582 và 1917 (tuỳ theo quốc gia), khi số đo chính xác của năm mặt trời được sử dụng để tạo ra một phương pháp mới nhằm xác định ngày nhuận, một phương pháp mà ngày nay vẫn còn sử dụng. Cùng với việc đặt lại ngày tháng và sửa lại nhịp điệu của tuần, tiêu chuẩn này được gọi là *lịch Gregorian* hay đơn giản là *lịch hiện đại*. Nó được đa số các dân tộc trên thế giới sử dụng.

Dù phức tạp, lịch hiện đại giúp bạn xác định ngày trong tuần ngay trong đầu. Chỉ cần thực hiện 6 bước:

1. lấy 2 chữ số cuối của năm chia 4, bỏ phần thập phân;
2. cộng thêm 2 chữ số cuối cùng của năm;
3. -1 đối với tháng 1 hay tháng 2 của năm nhuận;
4. +6 đối với các năm 2000 hay 1600, +4 đối với các năm 1700 hay 2100,
   +2 đối với các năm 1800 hay 2200 và 0 đối với các năm 1900 hay 1500;
5. cộng với ngày của tháng;
6. cộng với giá trị theo khoá của tháng, cụ thể là 144 025 036 146 cho JFM AMJ JAS OND.

Số dư sau khi chia cho 7 là ngày trong tuần, với 1-2-3-4-5-6-0 tương ứng với Chủ nhật, thứ 2, 3, 4, 5, 6, 7.*

Việc lựa chọn thời điểm bắt đầu đếm năm cũng là một vấn đề. Phương pháp cổ nhất không gắn liền với cấu trúc quyền lực chính trị là phương pháp của người Hy Lạp cổ, các năm được đếm từ Thế vận hội đầu tiên. Người ta thường nói rằng họ được sinh ra vào năm đầu tiên của Olympiad 23. Sau đó, các quyền lực chính trị luôn luôn bắt buộc người dân đếm năm từ một sự kiện quan trọng nào đó trở đi.** Việc đếm theo kiểu Olympic có đáng đưa ra xem xét lại không?

* Việc nhớ các kết quả trung gian đối với năm hiện tại có thể làm cho mọi việc đơn giản hơn, đặc biệt vì những ngày tháng 4.4, 6.6, 8.8, 10.10, 12.12, 9.5, 5.9, 7.11, 11.7 và ngày cuối tháng 2 đều rơi vào cùng một ngày trong tuần, cụ thể là kết quả trung gian của năm + 4.

** Cách đếm năm hiện nay có từ thời Trung cổ, đặt ngày thành lập Rome là năm 753 BCE, hay 753 *trước Công nguyên* rồi đếm ngược lại sao cho năm BCE là số âm. Tuy vậy, năm 1 theo ngay sau năm 1 BCE: không có năm 0.

Một số tiêu chuẩn của Đế quốc La Mã được dùng để giải thích cho nhiều chữ viết tắt trong sách này:
- c. là chữ Latin *circa* viết tắt và có nghĩa là 'vào khoảng';
- i.e. là chữ Latin *id est* viết tắt và có nghĩa là 'tức là';
- e.g. là chữ Latin *exempli gratia* viết tắt và có nghĩa là 'thí dụ như';
- ibid. là chữ Latin *ibidem* viết tắt và có nghĩa là 'như trên';
- inf. là chữ Latin *infra* viết tắt và có nghĩa là '(xem) dưới đây';
- op. cit. là chữ Latin *opus citatum* viết tắt và có nghĩa là 'tác phẩm được trích dẫn';
- et al. là chữ Latin *et alii* viết tắt và có nghĩa là 'và những người khác'.

Ngoài ra, *idem* có nghĩa là 'tương tự' và *passim* có nghĩa là 'đây đó' hay 'khắp nơi'. Nhiều thuật ngữ sử dụng trong Vật lý như tần số, gia tốc, vận tốc, khối lượng, lực, động lượng, quán tính, lực hấp dẫn và nhiệt độ dẫn xuất từ tiếng Latin. Đúng ra có thể cho rằng ngôn ngữ khoa học đã là tiếng Latin trong hơn 2000 năm. Trong thời La Mã cổ nó là ngữ vựng Latin với văn phạm Latin, trong thời hiện đại nó là ngữ vựng Latin với văn phạm tiếng Pháp, rồi trong một thời gian ngắn nó là ngữ vựng Latin với văn phạm tiếng Đức, sau đó nó trở thành ngữ vựng Latin với văn phạm tiếng Anh/Mỹ.

Nhiều đơn vị đo lường phát sinh từ thời La Mã, được giải thích trong phụ lục kế tiếp. Chưa kể có cả sự Xem 366 sùng bái các thuật ngữ Hy Lạp, như ta thấy trong cách đặt ra các từ mới như 'con quay hồi chuyển', 'entropy' hay 'proton', có từ thời La Mã.

Nhân danh

Ở Viễn đông như *Corea**, *Nhật* hay *Trung quốc*, họ được đặt trước tên. Thí dụ như người Nhật đầu tiên đoạt giải Nobel Vật lý là Yukawa Hideki. Ở *Ấn Độ*, thường nhưng không luôn luôn, không có họ; trong những trường hợp đó, người ta dùng tên của người cha. Ở *Nga*, họ ít được dùng trong khi nói chuyện; thay vào đó là tên của người cha. Thí dụ như Lev Landau được giới thiệu là Lev Davidovich ('con trai của David'). Ngoài ra, việc chuyển tự tiếng Nga không được chuẩn hoá; nó thay đổi theo quốc gia và tập quán. Thí dụ, ta có các cách viết Dostojewski, Dostoevskij, Dostoievski và Dostoyevsky cho cùng một người. Ở *Hoà Lan*, người ta không bao giờ dùng tên chính thức; mỗi người có một tên bán chính thức để gọi. Thí dụ như tên chính thức của Gerard't Hooft là Gerardus. Ở *Đức*, một số họ có cách đọc đặc biệt. Thí dụ như Voigt được đọc là 'Fohgt'. Ở *Ý*, trong thời Trung cổ và Phục hưng, người ta chỉ được gọi bằng tên, như Michelangelo hay Galileo, hay tên cộng thêm một họ không phải là tên của dòng họ, nhưng được sử dụng như họ, như Niccolò Tartaglia hay Leonardo Fibonacci. Ở *La Mã thời cổ*, tên của người thường là họ. Tên dòng họ là chữ lót. Thí dụ như tên dòng họ của Cicero là Tullius. Do đó luật do Cicero đưa ra được gọi là 'lex Tullia'. Ở *Hy Lạp thời cổ* không có họ. Người ta chỉ có tên. Trong tiếng Anh thì người ta sử dụng tên Latin như Democritus.

Chữ viết tắt và eponym hay khái niệm?

Những câu như câu sau đây là tai hoạ của Vật lý hiện đại:

> Nghịch lý EPR trong cách trình bày của Bohm có thể giải thích được bằng cách sử dụng tiếp cận GRW cùng với sự trợ giúp của phép giải gần đúng phương trình Schrödinger của WKB.

Việc sử dụng ngữ vựng như vậy là cách tốt nhất để làm cho ngôn ngữ trở nên khó hiểu đối với những người không chuyên môn. (Đúng ra thì câu này vô nghĩa vì 'tiếp cận GRW' là sai.) Đầu tiên, câu này sử dụng các chữ viết tắt, là một điều xấu hổ. Hơn nữa, câu này sử dụng tên người để mô tả khái niệm tức là sử dụng *eponym*. Ban đầu người ta dùng eponym để tỏ lòng kính trọng các thành tựu xuất chúng. Ngày nay, khi người ta không thể thiết lập các định luật hay các biến hoàn toàn mới mẻ, việc sử dụng nhiều các eponym là điều dễ hiểu vì số người đều đặn giảm đi chỉ phản ánh sự săn đuổi danh vọng 'vô tích sự' đang tăng lên.

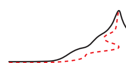
Eponym là bằng chứng các khoa học gia thiếu khả năng sáng tạo. Ta sẽ hết sức tránh điều này trong cuộc du hành và cố gắng cho các phương trình toán học hay các thực thể các tên *phổ biến*. Nhân danh sẽ được sử dụng như là một phần thêm vào các tên này. Thí dụ như 'các phương trình chuyển động Newton' không bao giờ được gọi là 'phương trình Newton'; 'phương trình trường Einstein' được sử dụng thay cho 'phương trình Einstein'; và 'phương trình chuyển động Heisenberg' thay cho 'phương trình Heisenberg'.

Tuy vậy, ta không tránh khỏi một số ngoại lệ: một số thuật ngữ trong Vật lý hiện đại không thể thay thế. Thí dụ như hằng số Boltzmann, thang đo Planck, bước sóng Compton, hiệu ứng Casimir và nhóm Lie. Bù lại quyển sách này chắc chắn sẽ giúp bạn

* Corea tạm thời bị quân đội Nhật đổi cách viết thành 'Korea' vì các tướng lãnh không chịu được việc Corea đi trước Japan theo thứ tự ABC. Đây không phải là chuyện đùa.

Xem 367

tìm thấy các định nghĩa của các khái niệm này qua việc sử dụng bảng chỉ mục. Ngoài ra, sách cũng cố gắng cung cấp cho bạn các nội dung lý thú nhất.



CHƯƠNG 17

ĐƠN VỊ, SỰ ĐO LƯỜNG VÀ CÁC HẰNG SỐ

Sự đo lường đồng nghĩa với việc so sánh các đại lượng cần đo với các chuẩn đo lường. Các chuẩn đo lường dựa trên các *đơn vị*. Nhiều hệ đơn vị khác nhau đã được sử dụng trên khắp thế giới. Phần lớn các chuẩn đo lường này được trao quyền cho một tổ chức phụ trách. Việc trao quyền này có khi bị lạm dụng và ngày nay việc này đã xảy ra, thí dụ như trong kỹ nghệ máy tính cũng như trong quá khứ xa xưa. Giải pháp cho cả hai trường hợp này thì giống nhau: tạo ra chuẩn đo lường có tính độc lập và toàn cầu. Đối với các đơn vị đo lường, việc này đã diễn ra vào thế kỷ 18: để tránh việc các tổ chức độc đoán lạm dụng, để loại bỏ các vấn đề các chuẩn đo lường khác nhau, thay đổi và không thể tái lập được, và – điều này không phải chuyện đùa – để đơn giản hoá việc thu thuế, tạo nên sự công bằng, một nhóm các khoa học gia, chính trị gia và kinh tế gia đồng ý tạo ra một bộ đơn vị. Nó được gọi là *Système International d'Unités*, Hệ đơn vị quốc tế, viết tắt là *SI*, và được xác định bởi một Hiệp ước quốc tế, 'Công ước về Mét'. Các đơn vị được bảo dưỡng bởi một tổ chức quốc tế, 'Đại hội đồng về cân đo', và các tổ chức con của nó, 'Uỷ ban quốc tế về cân đo' và 'Văn phòng quốc tế về cân đo' (BIPM). Tất cả đều
Xem 368
được tổ chức trước Cách mạng Pháp.

ĐƠN VỊ SI

Tất cả các đơn vị SI đều được xây dựng từ 7 *đơn vị cơ bản*, có định nghĩa chính thức, được dịch từ tiếng Pháp sang tiếng Anh như dưới đây, cùng với ngày tháng định nghĩa:

- '*giây* là khoảng thời gian của 9 192 631 770 chu kỳ của bức xạ tương ứng với sự chuyển dời giữa hai mức siêu tinh tế của trạng thái cơ bản của nguyên tử caesium 133.' (1967) Định nghĩa 2019 thì tương đương nhưng ít rõ ràng hơn.*
- '*mét* là chiều dài của quãng đường trong chân không mà ánh sáng đi được trong khoảng thời gian 1/299 792 458 s.' (1983) Định nghĩa 2019 thì tương đương nhưng ít rõ ràng hơn.*
- ' *kilogam*, ký hiệu kg, là đơn vị SI của khối lượng. Nó được định nghĩa bằng cách lấy trị số của hằng số Planck h bằng $6.626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ khi được biểu diễn theo đơn vị J · s hay $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$.' (2019)'*
- '*ampere*, ký hiệu A, là đơn vị SI của dòng điện. Nó được định nghĩa bằng cách lấy trị số của điện tích nguyên tố e bằng $1.602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ khi được biểu diễn theo đơn vị C hay A · s.' (2019) * Định nghĩa này tương đương với: 1 ampere là $6.241\,509\,074... \cdot 10^{18}$ điện tích nguyên tố mỗi giây.
- '*kelvin*, ký hiệu K, là đơn vị SI của nhiệt độ nhiệt động lực. Nó được định nghĩa bằng cách lấy trị số của hằng số Boltzmann k bằng $1.380\,649 \cdot 10^{-23}$ khi được biểu diễn theo

đơn vị J/K.' (2019)*

- '*mole*, ký hiệu mol, là đơn vị SI của lượng chất. Một mol chứa đúng $6.022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ thực thể sơ cấp.' (2019)*
- '*candela* là cường độ sáng, theo hướng đã cho, của một nguồn phát ra bức xạ đơn sắc có tần số $540 \cdot 10^{12}$ hertz và có cường độ bức xạ theo hướng đó bằng (1/683) w/sr.' (1979) Định nghĩa 2019 thì tương đương nhưng ít rõ ràng hơn.*

Ta nên chú ý là cả hai đơn vị thời gian và chiều dài đều được định nghĩa như các tính chất nào đó của một mẫu tiêu chuẩn của chuyển động, cụ thể là ánh sáng. Đại hội đồng về cân đo cũng nhấn mạnh rằng việc quan sát chuyển động là một *điều kiện tiên quyết* để định nghĩa và xây dựng không gian và thời gian. *Chuyển động là cơ sở cho mọi quan sát và mọi phép đo.* Cũng cần nói thêm, việc sử dụng ánh sáng trong các định nghĩa đã được Jacques Babinet đề nghị vào năm 1827.**

Từ những đơn vị cơ bản này, tất cả các đơn vị khác được định nghĩa bằng các phép nhân và chia. Như vậy tất cả các đơn vị SI đều có các tính chất sau đây:

- Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị có *độ chính xác cao nhất*: tất cả các đơn vị được định nghĩa với độ chính xác cao hơn độ chính xác của các phép đo thường dùng. Hơn nữa, độ chính xác của các định nghĩa được cải tiến thường xuyên. Sai số tương đối hiện nay của định nghĩa của giây vào khoảng 10^{-14}, của met vào khoảng 10^{-10}, của kilogam vào khoảng 10^{-9}, của ampere là 10^{-7}, của mole ít hơn 10^{-6}, của kelvin là 10^{-6} và của candela là 10^{-3}.
- Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *tuyệt đối*: mọi đơn vị đều được định nghĩa sao cho người ta có thể tái lập chúng trong những phòng thí nghiệm được trang bị thích hợp, một cách độc lập, với độ chính xác cao. Điều này nhằm loại trừ tối đa các sai sót hay lạm dụng của các tổ chức định chuẩn. Đúng ra đơn vị SI hiện nay rất gần với các đơn vị tự nhiên của Planck mà ta sẽ trình bày sau đây. Trong thực tế, SI hiện nay là một tiêu chuẩn quốc tế dùng để xác định trị số của 7 hằng số $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, c, $\hbar$, e, k, N_{A} và K_{cd}. Sau hơn 200 năm bàn bạc, CGPM còn rất ít việc để làm.
- Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *thực tế*: các đơn vị cơ bản là các đại lượng có kích thước thông thường. Các đơn vị thường dùng có tên và cách viết tắt tiêu chuẩn. Danh sách đầy đủ chỉ bao gồm 7 đơn vị cơ bản, các đơn vị phụ, các đơn vị dẫn xuất và các đơn vị được thêm vào.

Có hai đơn vị SI *phụ*: đơn vị đo góc (phẳng), được định nghĩa là tỷ số của chiều dài cung/bán kính, gọi là *radian* (rad). Góc khối được định nghĩa là tỷ số diện tích đối diện/bình phương bán kính, gọi là *steradian* (sr).

Các đơn vị *dẫn xuất* có tên riêng chính thức bằng tiếng Anh, không viết hoa và dấu nhấn, là:

---

* Ký hiệu của 7 đơn vị là s, m, kg, A, K, mol và cd. Định nghĩa chính thức có đầy đủ ở địa chỉ www.bipm.org. Để biết thêm chi tiết về các mức năng lượng của nguyên tử caesium, hãy tham khảo một quyển sách về vật lý nguyên tử. Thang đo nhiệt độ Celsius θ được định nghĩa như sau: $\theta/°\text{C} = T/\text{K} - 273.15$; hãy để ý có một sai biệt nhỏ với con số xuất hiện trong định nghĩa của kelvin. Trong định nghĩa của candela, tần số ánh sáng tương ứng với 555.5 nm, tức là màu lục, là bước sóng nhạy nhất đối với mắt.

Xem 369

** Jacques Babinet (1794–1874), vật lý gia Pháp, người đã công bố các công trình quang học quan trọng.

Tên	Viết tắt
hertz	$\mathrm{Hz} = 1/\mathrm{s}$
pascal	$\mathrm{Pa} = \mathrm{N/m^2} = \mathrm{kg/(m\,s^2)}$
watt	$\mathrm{W} = \mathrm{kg\,m^2/s^3}$
volt	$\mathrm{V} = \mathrm{kg\,m^2/(As^3)}$
ohm	$\Omega = \mathrm{V/A} = \mathrm{kg\,m^2/(A^2s^3)}$
weber	$\mathrm{Wb} = \mathrm{Vs} = \mathrm{kg\,m^2/(As^2)}$
henry	$\mathrm{H} = \mathrm{Vs/A} = \mathrm{kg\,m^2/(A^2s^2)}$
lumen	$\mathrm{lm} = \mathrm{cd\,sr}$
becquerel	$\mathrm{Bq} = 1/\mathrm{s}$
sievert	$\mathrm{Sv} = \mathrm{J/kg} = \mathrm{m^2/s^2}$

Tên	Viết tắt
newton	$\mathrm{N} = \mathrm{kg\,m/s^2}$
joule	$\mathrm{J} = \mathrm{Nm} = \mathrm{kg\,m^2/s^2}$
coulomb	$\mathrm{C} = \mathrm{As}$
farad	$\mathrm{F} = \mathrm{As/V} = \mathrm{A^2s^4/(kg\,m^2)}$
siemens	$\mathrm{S} = 1/\Omega$
tesla	$\mathrm{T} = \mathrm{Wb/m^2} = \mathrm{kg/(As^2)} = \mathrm{kg/(Cs)}$
độ Celsius	°C (xem định nghĩa của kelvin)
lux	$\mathrm{lx} = \mathrm{lm/m^2} = \mathrm{cd\,sr/m^2}$
gray	$\mathrm{Gy} = \mathrm{J/kg} = \mathrm{m^2/s^2}$
katal	$\mathrm{kat} = \mathrm{mol/s}$

Ta nên nhớ trong các định nghĩa đơn vị, kilogram chỉ xuất hiện với luỹ thừa 1, 0 và
Câu đố 725 s −1. Bạn có thể tìm ra lý do không?

Các đơn vị không thuộc SI *được thêm vào* là *phút*, *giờ*, *ngày* (đối với thời gian), *độ* $1° = \pi/180\,\mathrm{rad}$, *phút* $1' = \pi/10\,800\,\mathrm{rad}$, *giây* $1'' = \pi/648\,000\,\mathrm{rad}$ (đối với góc), *lít*, và *tấn*. Các đơn vị khác đều bị tránh không sử dụng.

Người ta làm tăng thêm tính thực tế cho tất cả các đơn vị SI bằng cách đưa ra thêm các tên và cách viết tắt tiêu chuẩn của các luỹ thừa của 10, mà ta gọi là *các tiền tố*:*

Tên luỹ thừa		
10^{1}	deca	da
10^{2}	hecto	h
10^{3}	kilo	k
10^{6}	Mega	M
10^{9}	Giga	G
10^{12}	Tera	T
10^{15}	Peta	P

Tên luỹ thừa		
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	µ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f

Tên luỹ thừa		
10^{18}	Exa	E
10^{21}	Zetta	Z
10^{24}	Yotta	Y
không chính thức:		
10^{27}	Xenta	X
10^{30}	Wekta	W
10^{33}	Vendekta	V
10^{36}	Udekta	U

Tên luỹ thừa		
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yocto	y
Xem 370		
10^{-27}	xenno	x
10^{-30}	weko	w
10^{-33}	vendeko	v
10^{-36}	udeko	u

▪ Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *đầy đủ*: chúng bao gồm một cách có hệ thống tất cả các biến động lực trong vật lý. Thêm nữa, chúng còn điều chỉnh luôn các đơn vị đo lường cho tất cả các khoa học khác.

* Người ta đã sáng chế ra một số tên (yocto nghe giống như từ Latin *octo* 'tám', zepto nghe giống như từ Latin *septem*, yotta và zetta thì tương tự, exa và peta nghe giống như từ Hy Lạp ἑξάκις và πεντάκις là '6 lần' và '5 lần', các tên không chính thức nghe giống như các từ Hy Lạp có nghĩa là 9, 10, 11 và 12); một số tên là từ tiếng Đan Mạch/Na Uy (atto do *atten* '18', femto do *femten* '15'); một số tên là từ tiếng Latin (*mille* là '1000', *centum* là '100', *decem* là '10', *nanus* là 'lùn'); một số tên là từ tiếng Ý (*piccolo* là 'nhỏ'); một số tên là từ tiếng Hy Lạp (micro do μικρός là 'nhỏ', deca/deka do δέκα là '10', hecto do ἑκατόν là '100', kilo do χίλιοι là '1000', mega do μέγας là 'lớn', giga doγίγας là 'khổng lồ', tera do τέρας là 'quái vật').

Câu đố 726 e Hãy dịch câu: Tôi đã bị kẹt xe mất một micro-thế kỷ để đi một quãng đường một picoparsec và tốn hết 2/10 milimét vuông nhiên liệu.

- Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *phổ dụng*: chúng còn được sử dụng trong lĩnh vực thương mại, kỹ nghệ, giáo dục, nghiên cứu và trong gia đình. Chúng còn có thể được các nền văn minh ngoài Trái đất, nếu có, sử dụng.
- Các đơn vị SI tạo thành một hệ đơn vị *nhất quán*: tích hay thương của 2 đơn vị SI cũng là một đơn vị SI. Về nguyên tắc điều này có nghĩa là có thể dùng cùng một chữ viết tắt 'SI' cho mọi đơn vị.

Các đơn vị SI không phải là tập hợp khả hữu duy nhất có thể thoả mãn các yêu cầu trên nhưng chúng là hệ đơn vị đang có, duy nhất làm được điều đó.*

Ý nghĩa của phép đo

Mỗi phép đo là một sự so sánh với một chuẩn đo. Do đó, một phép đo bất kỳ đòi hỏi có *vật chất* để hiện thực hoá chuẩn đo (ngay cả chuẩn vận tốc) và *bức xạ* để hoàn thành việc so sánh. Như vậy khái niệm đo đã giả sử rằng phải có vật chất và bức xạ và chúng phải tách biệt nhau.

Câu đố 727 e

Mỗi phép đo là một sự so sánh. Như vậy đo bao hàm việc phải có không gian và thời gian và chúng phải khác nhau.

Mỗi phép đo sinh ra một kết quả đo. Do đó mỗi phép đo phải có *nơi lưu trữ* kết quả. Như vậy quá trình đo dẫn tới sự phân biệt trạng thái trước và sau khi đo. Nói cách khác, mỗi phép đo là một quá trình *bất thuận nghịch*.

Mỗi phép đo là một quá trình chiếm một lượng thời gian và không gian nào đó.

Các tính chất này tuy đơn giản nhưng quan trọng. Hãy coi chừng xem có ai phủ nhận chúng hay không.

Các câu đố vui và lạ về đơn vị

* *

Việc không sử dụng đơn vị SI có thể gây ra tốn kém. Năm 1999, cơ quan không gian NASA mất một vệ tinh trên Hoả tinh vì một số lập trình viên đã dùng đơn vị địa phương thay vì đơn vị SI trong chương trình. Kết quả của việc dùng feet thay vì mét, phi thuyền Mars Climate Orbiter đâm vào hành tinh thay vì bay quanh nó; thiệt hại khoảng 100 triệu euro.**

Giây không còn tương ứng với 1/86 400 của một ngày nữa mặc dù nó đã được định nghĩa như vậy năm 1900; Trái đất bây giờ quay một vòng mất khoảng 86 400.002 s, vì vậy *Cơ quan quốc tế theo dõi chuyển động quay của Trái đất* phải thường xuyên thêm vào 1 giây nhuận để bảo đảm rằng Mặt trời luôn ở điểm cao nhất trên bầu trời vào đúng 12 giờ

* Ngoài các đơn vị quốc tế, cũng có các đơn vị mang tính *địa phương*. Phần lớn các đơn vị địa phương, vẫn còn được sử dụng, có nguồn gốc La Mã. Dặm xuất phát từ *milia passum*, thường là 1000 bước (đôi) dài khoảng 1480 mm mỗi bước; ngày nay một hải lý, đã từng được định nghĩa là 1 phút cung trên Mặt đất, có chiều dài chính xác là 1852 m. Inch xuất phát từ *uncia/onzia* (1/12 của một foot). Pound (xuất phát từ *pondere* 'cân') được dịch từ *libra* – cái cân – cũng là nguồn gốc của chữ viết tắt lb. Ngay cả thói quen đếm từng tá thay vì chục cũng có nguồn gốc La Mã. Những đơn vị này và các đơn vị buồn cười khác – như hệ đơn vị mà tên các đơn vị đều bắt đầu bằng chữ 'f', và hệ dùng furlong/fortnight làm đơn vị vận tốc – bây giờ đã chính thức được định nghĩa là bội số của đơn vị SI.

** Câu chuyện này làm sống lại một huyền thoại cũ nhưng sai lầm cho rằng chỉ có 3 quốc gia trên thế giới không dùng đơn vị SI là: Liberia, Mỹ và Myanmar.

trưa.* Thời gian được định nghĩa như vậy được gọi là *Toạ độ thời gian phổ quát*. Tốc độ quay của Trái đất cũng thay đổi bất thường từ ngày này qua ngày khác do thời tiết; tốc độ quay trung bình cũng thay đổi theo mùa vì sự thay đổi các chỏm băng ở địa cực; thêm vào đó tốc độ quay cũng giảm dần theo thời gian vì sự ma sát do thuỷ triều. Tốc độ thêm giây nhuận do đó cũng phải tăng lên sau 500 ngày chứ không phải là hằng số.

* *

Đồng hồ chính xác nhất mà người ta đã từng tạo ra, sử dụng vi ba, có độ ổn định 10^{-16} trong thời gian chạy là 500 s. Đối với khoảng thời gian dài hơn, kỷ lục năm 1997 cỡ 10^{-15}; nhưng các giá trị khoảng 10^{-17} nằm trong khả năng của công nghệ. Độ chính xác của đồng hồ bị giới hạn vì nhiễu nếu thời gian đo ngắn và vì sự thăng giáng nếu thời gian đo dài, tức là do các tác dụng của hệ thống. Vùng ổn định cao nhất phụ thuộc loại đồng hồ; thường là ở giữa 1 ms đối với đồng hồ quang và 5000 s đối với maser. Pulsar là loại đồng hồ duy nhất mà ta chưa biết vùng ổn định của nó; nó đã nằm đó hơn 20 năm, là thời gian kể từ lúc phát hiện đến khi các dòng này được viết ra.

Xem 371
Xem 372

* *

Hằng số được đo ít chính xác nhất trong các hằng số vật lý cơ bản là hằng số hấp dẫn G và hằng số liên kết mạnh α_s. Ít chính xác hơn là tuổi của vũ trụ và mật độ của nó (xem Bảng 60).

Trang 466

* *

Độ chính xác của số đo khối lượng chất rắn bị giới hạn bởi các hiệu ứng đơn giản như sự hấp phụ của nước. Bạn có thể ước tính khối lượng của một lớp đơn phân tử nước – một lớp có chiều dày 1 phân tử – trên mặt kim loại có khối lượng 1 kg không?

Câu đố 728 s

* *

Trong thiên niên kỷ trước, nhiệt năng thường được đo bằng đơn vị *calorie*, viết tắt là cal. 1 cal là năng lượng cần để làm nhiệt độ của 1 g nước tăng thêm 1 K. Vấn đề thêm rối khi 1 kcal thường được viết là 1 Cal. (Người ta cũng thường nói về 1 calorie lớn và nhỏ). 1 kcal bằng 4.1868 kJ.

* *

Người ta đã làm cho đơn vị SI thích ứng với con người: các số đo nhịp tim, kích thước, khối lượng, thân nhiệt và các chất trong người đều có bậc của độ lớn gần với giá trị của đơn vị. Như vậy đơn vị SI khẳng định (một cách gần đúng) điều mà Protagoras đã nói cách nay 25 thế kỷ: ‘Con người là số đo của mọi vật.’

* *

Một số hệ đơn vị đặc biệt không hợp với con người. Hệ tai tiếng nhất là cỡ giấy *S*. Nó là

* Website của cơ quan ở hpiers.obspm.fr có thông tin chi tiết về việc bổ sung này, cũng như ở trang maia.usno.navy.mil, một trong những websites có ích thuộc quân đội. Cũng nên thăm trang www.bipm.fr, của BIPM.

một số thuần tuý được tính như sau

$$S_{\text{Pháp}} = 1.5\,\text{cm}^{-1}(l + (1 \pm 1)\,\text{cm})$$
$$S_{\text{trung Âu}} = 1.5748\,\text{cm}^{-1}(l + (1 \pm 1)\,\text{cm})$$
$$S_{\text{Anglo-saxon}} = 1.181\,\text{cm}^{-1}(l + (1 \pm 1)\,\text{cm}) - 22 \qquad (125)$$

trong đó l là chiều dài bàn chân và chiều dài đúng phụ thuộc vào công ty sản xuất. Ngoài ra, công thức Anglo-saxon không đúng đối với phụ nữ và trẻ em, là yếu tố đầu tiên, vì lý do tiếp thị, phụ thuộc vào nhà sản xuất và kích cỡ. Tiêu chuẩn ISO đối với kích cỡ giày, không có gì lạ, sử dụng chiều dài bàn chân đo bằng mm.

* *

Bảng tiền tố SI bao gồm 72 bậc của độ lớn. Người ta cần bao nhiêu tiền tố phụ? Ngay cả một danh sách mở rộng cũng chỉ bao gồm một phần nhỏ của một số rất lớn các khả năng. Như vậy chẳng lẽ Đại hội đồng cân đo sẽ phải tiếp tục mãi việc định nghĩa một số vô hạn các tiền tố SI hay sao?

Câu đố 729 s

* *

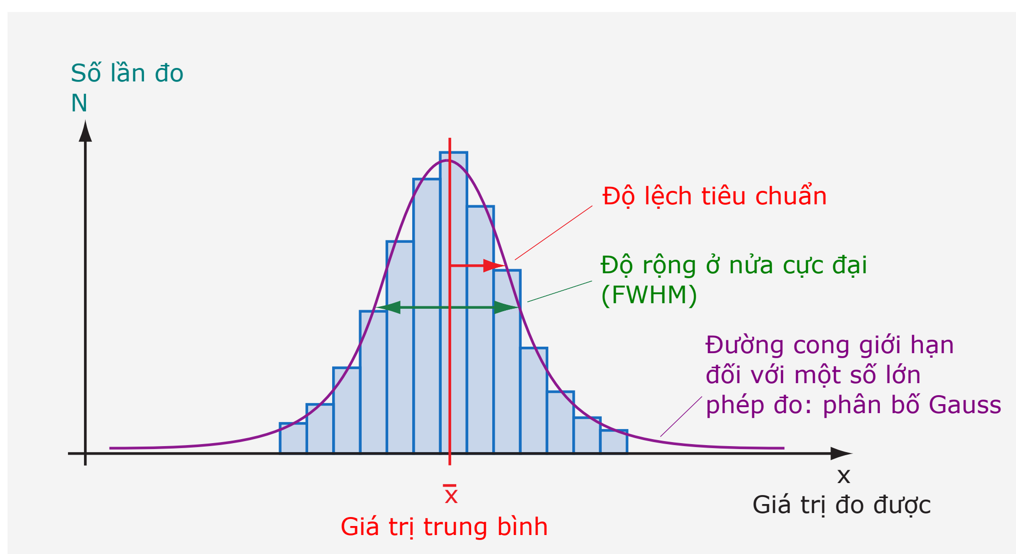
Vào thế kỷ 21, các công ty dệt sử dụng 3 hệ thống đo để biểu thị độ mịn của sợi. Cả 3 đều sử dụng mật độ khối lượng tuyến tính m/l. Hệ quốc tế sử dụng đơn vị 1 tex = 1 g/km. Hệ đặc biệt dành cho lụa sử dụng đơn vị *Denier*: 1 den = 1/9 g/km. Hệ thứ 3 sử dụng đơn vị *Number English*, bằng số con sợi vải cân nặng 1 pound. Ở đây, 1 *con sợi* dài 7 lea. 1 *lea* bằng 120 yard và 1 *yard* bằng 3 feet. Ngoài ra, số con sợi xác định thay đổi tuỳ theo linnen hay len, và nó còn phụ thuộc vào phương pháp xử lý len. Việc tìm hiểu về đơn vị trong ngành dệt đã làm cho mọi màn tấu hài giống như một bài hát ru nhạt nhẽo.

* *

Triết gia Pháp Voltaire, sau khi gặp Newton, đã phổ biến câu chuyện nổi tiếng về mối liên hệ giữa sự rơi của một vật và chuyển động của Mặt trăng đã được Newton khám phá khi ông nhìn thấy một quả táo rơi từ trên cây xuống. Hơn một thế kỷ sau, chỉ trước Cách mạng Pháp, một uỷ ban các nhà khoa học quyết định lấy đơn vị lực chính xác bằng lực do trọng lực tác dụng lên một *trái táo chuẩn* và đặt tên cho nó theo tên khoa học gia người Anh. Sau khi nghiên cứu rộng rãi, người ta thấy rằng khối lượng của trái táo chuẩn là 101.9716 g; trọng lượng của nó được gọi là 1 newton. Từ đó, du khách tới viện bảo tàng ở Sèvres gần Paris đã có thể thích thú ngắm nghía mét chuẩn, kilogram chuẩn và trái táo chuẩn.*

* Rõ ràng đây là một trò đùa; không có trái táo chuẩn nào ở đây. Tuy vậy có một *câu chuyện thật* là các chủ nhân của nhiều cây táo ở Anh và Mỹ đã nhận là đã sở hữu các cây táo là dòng dõi của cây táo mà Newton đã từng ngồi để phát hiện ra định luật nổi tiếng của mình. Người ta đã thực hiện các xét nghiệm DNA để xem các cây này có bắt nguồn từ cùng một cây hay không. Kết quả không làm ai ngạc nhiên là cây ở MIT, khác với các cây ở Anh, là đồ giả.

Xem 373



HÌNH 303 Một thí nghiệm chính xác và phân bố của các giá trị đo được. Sự chính xác cao nếu bề rộng của phân bố hẹp; độ đúng cao nếu tâm của phân bố phù hợp với giá trị thực.

Độ chính xác và độ đúng của phép đo

Đo lường là nền tảng của vật lý. Mỗi phép đo có một *sai số*. Sai số là do sự thiếu chính xác hay chưa đúng. *Độ chính xác* là mức độ tái lập kết quả khi phép đo được lặp lại; *độ đúng* là mức độ tương ứng của kết quả đo với giá trị thực.

Sự thiếu chính xác là do *các sai số ngẫu nhiên* hay tình cờ; sai số được đánh giá tốt nhất bằng *độ lệch tiêu chuẩn*, ký hiệu σ; được định nghĩa như sau

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 , \qquad (126)$$

trong đó $\bar{x}$ là giá trị trung bình của các kết quả đo x_i. (Bạn có biết tại sao người ta dùng
Câu đố 730 s
$n - 1$ trong công thức thay vì n không?)

Đối với phần lớn các thí nghiệm, sự phân bố của các giá trị đo được đều hướng tới phân bố chuẩn, còn gọi là *phân bố Gauss*, khi số lượng phép đo tăng lên. Phân bố biểu diễn trong Hình 303, được mô tả bởi biểu thức

$$N(x) \approx \mathrm{e}^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} . \qquad (127)$$

Bình phương của độ lệch tiêu chuẩn σ^2 được gọi là *phương sai*. Đối với phân bố Gauss
Câu đố 731 e
của các giá trị đo được, 2.35σ là độ rộng tại nửa cực đại.

Độ đúng không cao là do *các sai số hệ thống*;thường người ta chỉ có thể ước lượng các sai số này. Phần ước lượng này được thêm vào sai số ngẫu nhiên để tạo ra *sai số toàn*
Xem 374
phần của thí nghiệm, đôi khi còn được gọi là *độ bất định toàn phần*. Sai số *tương đối* hay độ bất định là tỷ số giữa sai số và giá trị đo được.

Thí dụ một phép đo chuyên nghiệp sẽ cho một kết quả như 0.312(6) m. Con số giữa hai dấu ngoặc đơn là độ lệch tiêu chuẩn σ, theo đơn vị của chữ số cuối cùng. Theo trên, ta đã giả sử kết quả đo tuân theo phân bố Gauss. Do đó, một giá trị 0.312(6) m hàm ý

Câu đố 732 e

rằng giá trị thực theo mong đợi nằm

— trong khoảng 1σ với xác suất 68.3 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.006 m;
— trong khoảng 2σ với xác suất 95.4 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.012 m;
— trong khoảng 3σ với xác suất 99.73 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.018 m;
— trong khoảng 4σ với xác suất 99.9937 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.024 m;
— trong khoảng 5σ với xác suất 99.999 943 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.030 m;
— trong khoảng 6σ với xác suất 99.999 999 80 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.036 m;
— trong khoảng 7σ với xác suất 99.999 999 999 74 %, như vậy trong thí dụ này nằm trong khoảng 0.312 ± 0.041 m.

Câu đố 733 s

(Những con số sau có ý nghĩa không?)

Nên nhớ rằng độ lệch tiêu chuẩn có 1 chữ số; bạn phải là một chuyên gia tầm cỡ thế giới mới dùng 2 chữ số, và một anh hề mới dùng nhiều chữ số hơn. Nếu không cho độ lệch tiêu chuẩn, thì xem như bằng (1). Kết quả, đối với các tay chuyên nghiệp, thì 1 km và 1000 m *không* giống nhau!

Điều gì sẽ xảy ra cho các sai số khi hai giá trị đo được A và B được cộng hay trừ với nhau? Nếu tất cả các phép đo độc lập – hay không tương quan – độ lệch tiêu chuẩn của tổng *và* hiệu sẽ là $\sigma = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}$. Đối với tích hay thương của hai giá trị đo được không tương quan C và D, kết quả là $\rho = \sqrt{\rho_C^2 + \rho_D^2}$, ở đây ρ là độ lệch tiêu chuẩn *tương đối*.

Câu đố 734 s

Giả sử bạn đo được một vật đi được 1.0 m trong 3.0 s: giá trị đo được của tốc độ là bao nhiêu?

Giới hạn của độ chính xác

Giới hạn của độ đúng và độ chính xác là gì? Không có cách nào, ngay cả theo nguyên tắc, để đo một chiều dài x với *độ chính xác* cao hơn 61 chữ số, vì trong thiên nhiên, tỷ số giữa chiều dài lớn nhất và nhỏ nhất có thể đo được là $\Delta x/x > l_{\text{Pl}}/d_{\text{horizon}} = 10^{-61}$. (Tỷ số

Câu đố 735 e

này còn đúng với lực và thể tích không?) Trong quyển sách sau cùng của chúng ta, việc nghiên cứu đồng hồ và thước sẽ củng cố cho giới hạn lý thuyết này.

Quyển VI, trang 94

Cũng dễ suy ra các giới hạn thực tế chặt chẽ hơn. Không có máy móc tưởng tượng nào có thể đo các đại lượng với độ chính xác cao hơn phép đo đường kính của Trái đất trong phạm vi chiều dài nhỏ nhất đã đo được, khoảng 10^{-19} m; giới hạn đó có khoảng 26 chữ số chính xác. Dùng một giới hạn hiện thực hơn của một máy có kích cỡ 1000 m sẽ dẫn tới một giới hạn 22 chữ số. Nếu, như đã tiên đoán ở trên, các phép đo thời gian thực sự đạt tới 17 chữ số chính xác, thì chúng đang tiến gần đến giới hạn thực tế, vì tách rời khỏi kích thước, có một ràng buộc thực tế phụ: chi phí. Thật vậy, thêm một chữ số chính xác trong phép đo thường có nghĩa là thêm một chữ số vào chi phí thiết bị.

Các hằng số vật lý

Trong vật lý, các quan trắc tổng quát được suy ra từ các quan trắc cơ bản hơn. Kết quả là nhiều phép đo có thể được suy ra từ những phép đo cơ bản hơn. Các phép đo cơ bản nhất là các phép đo các hằng số vật lý.

Các bảng sau đây cho các giá trị tốt nhất thế giới của các hằng số vật lý và các tính chất quan trọng nhất – theo đơn vị SI và vài đơn vị thông thường khác – như đã công bố trong phần tham khảo các tiêu chuẩn. Các giá trị là trung bình của các phép đo tốt nhất thế giới đã được thực hiện cho đến nay. Như thường lệ, sai số thực nghiệm, bao gồm cả sai số ngẫu nhiên và sai số hệ thống đã được ước lượng, biểu diễn theo dạng độ lệch tiêu chuẩn được cho vào chữ số cuối cùng. Đúng ra thì sau mỗi số trong các bảng sau đây là một câu chuyện dài đáng kể lại, nhưng ở đây không đủ chỗ để làm việc đó.

Xem 375
Xem 376

Về nguyên tắc, *mọi* tính chất định lượng của vật chất đều có thể tính toán bằng Thuyết lượng tử – nói chính xác hơn là các phương trình của mô hình chuẩn của hạt – và tập hợp các hằng số *cơ bản* được cho trong bảng sau đây. Thí dụ như màu sắc, mật độ và các tính chất đàn hồi đều có thể tiên đoán được bằng phương thức này.

Quyển V, trang 261

BẢNG 57 Các hằng số vật lý cơ bản.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị theo đơn vị SI	Độ bđ.[a]
Các hằng số dùng để định nghĩa các đơn vị đo lường SI			
Tốc độ của ánh sáng trong chân không [c]	c	299 792 458 m/s	0
Hằng số Planck [c]	h	$6.626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ Js	0
Hằng số Planck rút gọn, lượng tử tác dụng	$\hbar$	$1.054\,571\,817\ldots \cdot 10^{-34}$ Js	0
Điện tích Positron [c]	e	0.160 217 6634 aC	0
Hằng số Boltzmann [c]	k	$1.380\,649 \cdot 10^{-23}$ J/K	0
Số Avogadro	N_A	$6.022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ 1/mol	0
Hằng số *sẽ* dùng để định nghĩa đơn vị đo lường SI			
Hằng số hấp dẫn	G	$6.674\,30(15) \cdot 10^{-11}$ Nm²/kg²	$2.2 \cdot 10^{-5}$
Các hằng số cơ bản khác			
Số chiều không-thời gian		3 + 1	0 [b]
Hằng số cấu trúc tinh tế [d] hay	$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar c}$	1/137.035 999 084(21)	$1.5 \cdot 10^{-10}$
hằng số liên kết điện từ	$= g_{em}(m_e^2c^2)$	= 0.007 297 352 5693(11)	$1.5 \cdot 10^{-10}$
Hằng số liên kết Fermi [d] hay	$G_F/(\hbar c)^3$	$1.166\,3787(6) \cdot 10^{-5}$ GeV^{-2}	$5.1 \cdot 10^{-7}$
hằng số liên kết yếu	$\alpha_w(M_Z) = g_w^2/(4\pi)$	1/30.1(3)	$1 \cdot 10^{-2}$
Hằng số liên kết mạnh [d]	$\alpha_s(M_Z) = g_s^2/(4\pi)$	0.1179(10)	$8.5 \cdot 10^{-3}$
Góc hoà trộn yếu	$\sin^2\theta_W(\overline{MS})$	0.231 22(4)	$1.7 \cdot 10^{-4}$
	$\sin^2\theta_W$ (trên mặt) $= 1-(m_W/m_Z)^2$	0.222 90(30)	$1.3 \cdot 10^{-3}$
Matrix hoà trộn quark CMK	$\|V\|$	$\begin{pmatrix} 0.97383(24) & 0.2272(10) & 0.00396(9) \\ 0.2271(10) & 0.97296(24) & 0.04221(80) \\ 0.00814(64) & 0.04161(78) & 0.999100(34) \end{pmatrix}$	

BẢNG 57 (Tiếp theo) Các hằng số vật lý cơ bản.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị theo đơn vị SI	Độ bđ[a]
Bất biến Jarlskog	J	$3.08(18) \cdot 10^{-5}$	
Matrix hoà trộn neutrino PMNS	$\lvert P \rvert$	$\begin{pmatrix} 0.82(2) & 0.55(4) & 0.150(7) \\ 0.37(13) & 0.57(11) & 0.71(7) \\ 0.41(13) & 0.59(10) & 0.69(7) \end{pmatrix}$	
Khối lượng Electron	m_e	$9.109\,383\,7015(28) \cdot 10^{-31}$ kg	$3.0 \cdot 10^{-10}$
		$5.485\,799\,090\,65(16) \cdot 10^{-4}$ u	$2.9 \cdot 10^{-11}$
		$0.510\,998\,950\,00(15)$ MeV	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Khối lượng Muon	m_μ	$1.883\,531\,627(42) \cdot 10^{-28}$ kg	$2.2 \cdot 10^{-8}$
		$105.658\,3755(23)$ MeV	$2.2 \cdot 10^{-8}$
Khối lượng Tau	m_τ	$1.776\,82(12)$ GeV$/c^2$	$6.8 \cdot 10^{-5}$
Khối lượng neutrino electron	m_{ν_e}	< 2 eV$/c^2$	
Khối lượng neutrino Muon	m_{ν_μ}	< 2 eV$/c^2$	
Khối lượng neutrino Tau	m_{ν_τ}	< 2 eV$/c^2$	
Khối lượng quark Up	u	$21.6(+0.49/-0.26)$ MeV$/c^2$	
Khối lượng quark Down	d	$4.67(+0.48/-0.17)$ MeV$/c^2$	
Khối lượng quark Strange	s	$93(+11/-5)$ MeV$/c^2$	
Khối lượng quark Charm	c	$1.27(2)$ GeV$/c^2$	
Khối lượng quark Bottom	b	$4.18(3)$ GeV$/c^2$	
Khối lượng quark Top	t	$172.9(0.4)$ GeV$/c^2$	
Khối lượng Photon	γ	$< 2 \cdot 10^{-54}$ kg	
Khối lượng boson W	$W^\pm$	$80.379(12)$ GeV$/c^2$	
Khối lượng boson Z	Z^0	$91.1876(21)$ GeV$/c^2$	
Khối lượng Higgs	H	$125.10(14)$ GeV$/c^2$	
Khối lượng Gluon	$g_{1...8}$	$c.$ 0 MeV$/c^2$	

a. Độ bất định: độ lệch tiêu chuẩn của sai số của phép đo.
b. Chỉ đo được từ 10^{-19} m tới 10^{26} m.
c. Hằng số định nghĩa.
d. Tất cả các hằng số liên kết phụ thuộc vào sự chuyển động lượng 4 chiều, như đã giải thích trong phần tái chuẩn hoá. *Hằng số cấu trúc tinh tế* là tên truyền thống của hằng số liên kết điện từ g_{em} trong trường hợp chuyển động lượng 4 chiều có $Q^2 = m_e^2 c^2$, là giá trị khả hữu nhỏ nhất. Ở mức chuyển động lượng cao hơn, nó có giá trị lớn hơn, tức là $g_{em}(Q^2 = M_W^2 c^2) \approx 1/128$. Trái lại, hằng số liên kết mạnh ở mức chuyển động lượng cao hơn, có giá trị nhỏ hơn; tức là $\alpha_s(34\,\text{GeV}) = 0.14(2)$.

Page 131

Tại sao các hằng số cơ bản này lại có giá trị như vậy? Đối với một hằng số bất kỳ *có thứ nguyên*, như lượng tử tác dụng $\hbar$, trị số chỉ có giá trị lịch sử. Nó là $1.054 \cdot 10^{-34}$ Js vì định nghĩa SI của joule và giây. Do đó câu hỏi tại sao giá trị của một hằng số *có thứ nguyên* không lớn hơn hay nhỏ hơn, luôn luôn đòi hỏi ta hiểu nguồn gốc của các số *không thứ nguyên* là tỷ số giữa hằng số đó và *đơn vị tự nhiên* tương ứng được định nghĩa bằng c, G, k, N_A và $\hbar$. Thông tin và giá trị của các đơn vị tự nhiên được cho trong một phần riêng.

Quyển IV, trang 209

Việc tìm hiểu kích thước nguyên tử, con người, cây cối và ngôi sao, thời gian xảy ra của các quá trình phân tử và nguyên tử, khối lượng của hạt nhân và núi non, bao hàm việc tìm hiểu về các tỷ số giữa các giá trị này và đơn vị tự nhiên tương ứng. Như vậy điểm chính yếu của việc tìm hiểu thiên nhiên là tìm hiểu tất cả các tỷ số của phép đo, tức là tất cả các hằng số không thứ nguyên. Nhiệm vụ tìm hiểu tất cả các tỷ số, bao gồm chính hằng số cấu trúc tinh tế α, chỉ được hoàn tất trong quyển cuối cùng của cuộc phiêu lưu.

Các hằng số cơ bản sinh ra các kết quả quan sát hữu ích, có độ chính xác cao, sau đây:

BẢNG 58 Các hằng số vật lý dẫn xuất.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị theo đơn vị SI	Độ bđ.
Độ từ thẩm của chân không	μ_0	1.256 637 062 12(19) μH/m	$1.5 \cdot 10^{-10}$
Độ điện thẩm của chân không	$\varepsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2)$	8.854 187 8128(13) pF/m	$1.5 \cdot 10^{-10}$
Ba trở trong chân không	$Z_0 = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}$	376.730 313 668(57) Ω	$1.5 \cdot 10^{-10}$
Số Loschmidt	N_L	$2.686\,780\,111... \cdot 10^{25}\ 1/\mathrm{m}^3$	0
ở 273.15 K và 101 325 Pa			
Hằng số Faraday	$F = N_A e$	96 485.332 12... C/mol	0
Hằng số khí phổ dụng	$R = N_A k$	8.314 462 618... J/(mol K)	0
Thể tích mol của khí lý tưởng	$V = RT/p$	22.413 969 54... l/mol	0
ở 273.15 K và 101 325 Pa			
Hằng số Rydberg [a]	$R_\infty = m_e c \alpha^2/(2h)$	$10\,973\,731.568\,160(21)\ \mathrm{m}^{-1}$	$1.9 \cdot 10^{-12}$
Lượng tử độ dẫn	$G_0 = 2e^2/h$	77.480 917 29... μS	0
Lượng tử từ thông	$\varphi_0 = h/(2e)$	2.067 833 848... fWb	0
Tỷ số tần số Josephson	$2e/h$	483.597 8484... THz/V	0
Hằng số Von Klitzing	$h/e^2 = \mu_0 c/(2\alpha)$	25 812.807 45... Ω	0
Magneton Bohr	$\mu_B = e\hbar/(2m_e)$	9.274 010 0783(28) yJ/T	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Bán kính electron cổ điển	$r_e = e^2/(4\pi\varepsilon_0 m_e c^2)$	2.817 940 3262(13) fm	$4.5 \cdot 10^{-10}$
Bước sóng Compton	$\lambda_C = h/(m_e c)$	2.426 310 238 67(73) pm	$3.0 \cdot 10^{-10}$
của electron	$\lambda\!\!\!^-_c = \hbar/(m_e c) = r_e/\alpha$	0.386 159 267 96(12) pm	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Bán kính Bohr [a]	$a_\infty = r_e/\alpha^2$	52.917 721 0903(80) pm	$1.5 \cdot 10^{-10}$
Lượng tử của lưu số	$h/(2m_e)$	$3.636\,947\,5516(11)\ \mathrm{cm}^2/\mathrm{s}$	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Điện tích riêng của positron	e/m_e	175.882 001 076(55) GC/kg	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Tần số Cyclotron	$f_c/B = e/(2\pi m_e)$	27.992 489 872(9) GHz/T	$3.0 \cdot 10^{-10}$
của electron			
Moment từ của electron	μ_e	−9.284 764 7043(28) yJ/T	$3.0 \cdot 10^{-10}$
	μ_e/μ_B	−1.001 159 652 181 28(18)	$1.7 \cdot 10^{-13}$
	μ_e/μ_N	$-1\,838.281\,971\,88(11) \cdot 10^3$	$6.0 \cdot 10^{-11}$
Thừa số g của electron	g_e	−2.002 319 304 362 56(35)	$1.7 \cdot 10^{-13}$
Tỷ khối muon–electron	m_μ/m_e	206.768 2830(46)	$2.2 \cdot 10^{-8}$
Moment từ của muon	μ_μ	$-4.490\,448\,30(10) \cdot 10^{-26}$ J/T	$2.2 \cdot 10^{-8}$
Thừa số g của muon	g_μ	−2.002 331 8418(13)	$6.3 \cdot 10^{-10}$
Đơn vị khối lượng nguyên tử	$1\ \mathrm{u} = m_{^{12}\mathrm{C}}/12$	$1.660\,539\,066\,60(50) \cdot 10^{-27}$ kg	$3.0 \cdot 10^{-10}$
Khối lượng proton	m_p	$1.672\,621\,923\,69(51) \cdot 10^{-27}$ kg	$3.1 \cdot 10^{-10}$

BẢNG 58 (Tiếp theo) Các hằng số vật lý dẫn xuất.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị theo đơn vị SI	Độ bđ.
		1.007 276 466 621(53) u	$5.3 \cdot 10^{-11}$
		938.272 088 16(29) MeV	$3.1 \cdot 10^{-10}$
Tỷ khối proton–electron	m_p/m_e	1 836.152 673 43(11)	$6.0 \cdot 10^{-11}$
Điện tích riêng của proton	e/m_p	$9.578\,833\,1560(29) \cdot 10^{7}$ C/kg	$3.1 \cdot 10^{-10}$
Bước sóng Compton của proton	$\lambda_{C,p} = h/(m_p c)$	1.321 409 855 39(40) fm	$3.1 \cdot 10^{-10}$
Magneton hạt nhân	$\mu_N = e\hbar/(2m_p)$	$5.050\,783\,7461(15) \cdot 10^{-27}$ J/T	$3.1 \cdot 10^{-10}$
Moment từ của proton	μ_p	$1.410\,606\,797\,36(60) \cdot 10^{-26}$ J/T	$4.2 \cdot 10^{-10}$
	μ_p/μ_B	$1.521\,032\,202\,30(46) \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-10}$
	μ_p/μ_N	2.792 847 344 63(82)	$2.9 \cdot 10^{-10}$
Tỷ số hồi chuyển từ của proton	$\gamma_p = 2\mu_p/h$	42.577 478 518(18) MHz/T	$4.2 \cdot 10^{-10}$
Thừa số g của proton	g_p	5.585 694 6893(16)	$2.9 \cdot 10^{-10}$
Khối lượng neutron	m_n	$1.674\,927\,498\,04(95) \cdot 10^{-27}$ kg	$5.7 \cdot 10^{-10}$
		1.008 664 915 95(43) u	$4.8 \cdot 10^{-10}$
		939.565 420 52(54) MeV	$5.7 \cdot 10^{-10}$
Tỷ khối neutron–electron	m_n/m_e	1 838.683 661 73(89)	$4.8 \cdot 10^{-10}$
Tỷ khối neutron–proton	m_n/m_p	1.001 378 419 31(49)	$4.9 \cdot 10^{-10}$
Bước sóng Compton của neutron	$\lambda_{C,n} = h/(m_n c)$	1.319 590 905 81(75) fm	$5.7 \cdot 10^{-10}$
Moment từ của neutron	μ_n	$-0.966\,236\,51(23) \cdot 10^{-26}$ J/T	$2.4 \cdot 10^{-7}$
	μ_n/μ_B	$-1.041\,875\,63(25) \cdot 10^{-3}$	$2.4 \cdot 10^{-7}$
	μ_n/μ_N	−1.913 042 73(45)	$2.4 \cdot 10^{-7}$
Hằng số Stefan–Boltzmann	$\sigma = \pi^2 k^4/(60\hbar^3 c^2)$	56.703 744 19... nW/(m²K⁴)	0
Hằng số dịch chuyển Wien	$b = \lambda_{max} T$	2.897 771 955... mmK	0
		58.789 257 57... GHz/K	0
Electron volt	eV	0.160 217 6634... aJ	0
Hệ số chuyển đổi bit sang entropy	$k \ln 2$	10^{23} bit = 0.956 994... J/K	0
Năng lượng của TNT		3.7 tới 4.0 MJ/kg	$4 \cdot 10^{-2}$

a. Đối với khối lượng hạt nhân lớn vô hạn.

Một số tính chất hữu ích của môi trường địa phương của chúng ta được cho trong bảng sau đây.

BẢNG 59 Các hằng số thiên văn.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Năm tropic 1900 [a]	a	31 556 925.974 7 s
Năm tropic 1994	a	31 556 925.2 s
Ngày sao trung bình	d	$23^h 56' 4.090\,53''$
Khoảng cách Trái đất–Mặt trời trung bình [b]		149 597 870.691(30) km
Đơn vị thiên văn [b]	AU	149 597 870 691 m

BẢNG 59 (Tiếp theo) Các hằng số thiên văn.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Năm ánh sáng, căn cứ trên năm Julian [b]	al	9.460 730 472 5808 Pm
Parsec	pc	30.856 775 806 Pm = 3.261 634 al
Khối lượng Trái đất	$M_♁$	$5.973(1) \cdot 10^{24}$ kg
Hằng số hấp dẫn địa tâm	GM	$3.986\,004\,418(8) \cdot 10^{14}\ \mathrm{m^3/s^2}$
Chiều dài hấp dẫn của Trái đất	$l_♁ = 2GM/c^2$	8.870 056 078(16) mm
Bán kính xích đạo của Trái đất [c]	$R_{♁eq}$	6378.1366(1) km
Bán kính cực của Trái đất [c]	$R_{♁p}$	6356.752(1) km
Khoảng cách xích đạo–cực [c]		10 001.966 km (trung bình)
Độ phẳng của Trái đất [c]	$e_♁$	1/298.25642(1)
Mật độ trung bình của Trái đất	$\rho_♁$	$5.5\ \mathrm{Mg/m^3}$
Tuổi Trái đất	$T_♁$	4.50(4) Ga = 142(2) Ps
Gia tốc trọng lực	g	$9.806\,65\ \mathrm{m/s^2}$
Áp suất khí quyển chuẩn của Trái đất	p_0	101 325 Pa
Bán kính Mặt trăng	$R_{☾v}$	1738 km theo hướng của Trái đất
Bán kính Mặt trăng	$R_{☾h}$	1737.4 km theo hai hướng khác
Khối lượng Mặt trăng	$M_☾$	$7.35 \cdot 10^{22}$ kg
Khoảng cách trung bình tới Mặt trăng [d]	$d_☾$	384 401 km
Khoảng cách tới Mặt trăng ở điểm cận địa [d]		tiêu biểu 363 Mm, cực tiểu trong lịch sử 359 861 km
Khoảng cách tới Mặt trăng ở điểm viễn địa [d]		tiêu biểu 404 Mm, cực đại trong lịch sử 406 720 km
Kích thước góc của Mặt trăng [e]		trung bình 0.5181° = 31.08′, cực tiểu 0.49°, cực đại 0.55°
Mật độ trung bình của Mặt trăng	$\rho_☾$	$3.3\ \mathrm{Mg/m^3}$
Gia tốc hấp dẫn tại bề mặt Mặt trăng	$g_☾$	$1.62\ \mathrm{m/s^2}$
Áp suất khí quyển Mặt trăng	$p_☾$	từ 10^{-10} Pa (đêm) tới 10^{-7} Pa (ngày)
Khối lượng Mộc tinh	$M_♃$	$1.90 \cdot 10^{27}$ kg
Bán kính Mộc tinh, xích đạo	$R_♃$	71.398 Mm
Bán kính Mộc tinh, cực	$R_♃$	67.1(1) Mm
Khoảng cách trung bình Mộc tinh-Mặt trời	$D_♃$	778 412 020 km
Gia tốc hấp dẫn tại bề mặt Mộc tinh	$g_♃$	$24.9\ \mathrm{m/s^2}$
Áp suất khí quyển Mộc tinh	$p_♃$	từ 20 kPa tới 200 kPa
Khối lượng Mặt trời	$M_\odot$	$1.988\,43(3) \cdot 10^{30}$ kg
Chiều dài hấp dẫn của Mặt trời	$2GM_\odot/c^2$	2.953 250 08(5) km
Hằng số hấp dẫn nhật tâm	$GM_\odot$	$132.712\,440\,018(8) \cdot 10^{18}\ \mathrm{m^3/s^2}$
Độ trưng của Mặt trời	$L_\odot$	384.6 YW
Bán kính xích đạo Mặt trời	$R_\odot$	695.98(7) Mm
Kích thước góc của Mặt trời		0.53° trung bình; cực tiểu vào ngày 4/7 (điểm viễn nhật) 1888″, cực đại vào ngày 4/1 (điểm cận nhật) 1952″

BẢNG 59 (Tiếp theo) Các hằng số thiên văn.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Mật độ trung bình của Mặt trời	$\rho_\odot$	1.4 Mg/m^3
Khoảng cách trung bình tới Mặt trời	AU	149 597 870.691(30) km
Tuổi Mặt trời	$T_\odot$	4.6 Ga
Vận tốc Mặt trời quanh tâm thiên hà	$v_{\odot g}$	220(20) km/s
Vận tốc Mặt trời đối với nền vũ trụ	$v_{\odot b}$	370.6(5) km/s
Gia tốc hấp dẫn tại bề mặt Mặt trời	$g_\odot$	274 m/s^2
Áp suất hạ quang quyển của Mặt trời	$p_\odot$	15 kPa
Khoảng cách tới tâm Ngân hà		8.0(5) kpc = 26.1(1.6) kal
Tuổi Ngân hà		13.6 Ga
Kích thước Ngân hà		*c.* 10^{21} m hay 100 kal
Khối lượng Ngân hà		10^{12} khối lượng Mặt trời, *c.* $2 \cdot 10^{42}$ kg
Đám thiên hà xa nhất đã biết	SXDF-XCLJ 0218-0510	$9.6 \cdot 10^9$ al

a. Định nghĩa một hằng lượng giữa 2 lần đi qua điểm xuân phân liên tiếp; đã có lần người ta dùng nó để định nghĩa giây. (Nên nhớ: π s thì bằng cỡ một nano-thế kỷ.) Giá trị 1990 thì ít hơn khoảng 0.7 s, tương ứng với với việc đi chậm lại khoảng 0.2 ms/a. (Coi chừng: tại sao?) Có cả một công thức theo kinh nghiệm dành cho sự thay đổi chiều dài của năm theo thời gian.
Câu đố 736 s
Xem 377
b. Độ chính xác đáng kinh ngạc trong khoảng cách trung bình Trái đất–Mặt trời, vì chỉ có 30 m, là nhờ việc đo thời gian trung bình của các tín hiệu gởi từ phi thuyền Viking và phi thuyền thám hiểm Hoả tinh được thực hiện trong thời gian hơn 20 năm. Cũng nên nhớ rằng Hiệp hội thiên văn quốc tế phân biệt khoảng cách trung bình Trái đất–Mặt trời với *đơn vị thiên văn*; đại lượng sau được định nghĩa như một chiều dài cố định và chính xác. *Năm ánh sáng* cũng là một đơn vị được IAU định nghĩa là một con số chính xác. Để biết thêm chi tiết, hãy xem trang www.iau.org/public/measuring.
c. Hình dạng của Trái đất được Hệ thống trắc địa thế giới mô tả chính xác nhất. Ấn bản sau cùng đã có từ năm 1984. Để có một cái nhìn bao quát về nền tảng cũng như chi tiết, hãy xem website www.wgs84.com. Hiệp hội trắc địa quốc tế đã tinh lọc dữ liệu trong năm 2000. Bán kính và độ phẳng được ghi ra đây là dữ liệu dành cho 'hệ thuỷ triều trung bình'. Chúng khác với dữ liệu của 'hệ không thuỷ triều' và các hệ khác vào khoảng 0.7 m. Các thông tin cũng đã tự tạo thành một khoa học.
d. Được đo giữa 2 tâm. Để tìm vị trí chính xác của Mặt trăng vào ngày tháng đã cho, hãy xem trang www.fourmilab.ch/earthview/moon_ap_per.html. Đối với các hành tinh hãy xem trang www.fourmilab.ch/solar/solar.html và các trang khác trên cùng site.
e. Góc được định nghĩa như sau: 1 độ = $1^\circ = \pi/180$ rad, 1 phút (đầu tiên) = $1' = 1^\circ/60$, 1 giây (phút) = $1'' = 1'/60$. Các đơn vị cổ 'phút thứ 3' và 'phút thứ tư', mỗi đơn vị là 1/60 của đơn vị đứng trước, không còn được sử dụng nũa. ('Minute' có nghĩa là 'rất nhỏ' và nó vẫn còn giữ nghĩa đó trong Anh văn hiện đại.)

Một số tính chất của thiên nhiên ở tầm cỡ lớn được liệt kê trong bảng dưới đây. (Thêm một câu đố, bạn có thể xác định xem một tính chất bất kỳ của vũ trụ đã được liệt kê hay

Câu đố 737 s chưa?)

BẢNG 60 Các hằng số vũ trụ.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Hằng số vũ trụ	Λ	$c.\ 1 \cdot 10^{-52}\ \mathrm{m}^{-2}$
Tuổi của vũ trụ [a]	t_0	$4.333(53) \cdot 10^{17}\ \mathrm{s} = 13.8(0.1) \cdot 10^{9}\ \mathrm{a}$
(được xác định từ không-thời gian, thông qua sự giãn nở và sử dụng Thuyết tương đối tổng quát)		
Tuổi của vũ trụ [a]	t_0	trên $3.5(4) \cdot 10^{17}\ \mathrm{s} = 11.5(1.5) \cdot 10^{9}\ \mathrm{a}$
(được xác định từ vật chất, thông qua các thiên hà và ngôi sao, sử dụng Thuyết lượng tử)		
Tham số Hubble [a]	H_0	$2.3(2) \cdot 10^{-18}\ \mathrm{s}^{-1} = 0.73(4) \cdot 10^{-10}\ \mathrm{a}^{-1}$
	$= h_0 \cdot 100\ \mathrm{km/s\,Mpc} = h_0 \cdot 1.0227 \cdot 10^{-10}\ \mathrm{a}^{-1}$	
Tham số Hubble rút gọn [a]	h_0	$0.71(4)$
Tham số giảm tốc [a]	$q_0 = -(\ddot{a}/a)_0/H_0^2$	$-0.66(10)$
Khoảng cách chân trời vũ trụ [a]	$d_0 = 3ct_0$	$40.0(6) \cdot 10^{26}\ \mathrm{m} = 13.0(2)\ \mathrm{Gpc}$
Topo của vũ trụ		độ không rời rạc lên tới 10^{26} m
Số chiều của không gian		3, cho các khoảng cách lên tới 10^{26} m
Mật độ tới hạn của vũ trụ	$\rho_c = 3H_0^2/(8\pi G)$	$h_0^2 \cdot 1.878\,82(24) \cdot 10^{-26}\ \mathrm{kg/m^3}$ $= 0.95(12) \cdot 10^{-26}\ \mathrm{kg/m^3}$
Tham số mật độ (toàn phần) [a]	$\Omega_0 = \rho_0/\rho_c$	$1.02(2)$
Tham số mật độ Baryon [a]	$\Omega_{B0} = \rho_{B0}/\rho_c$	$0.044(4)$
Tham số mật độ vật chất tối lạnh [a]	$\Omega_{CDM0} = \rho_{CDM0}/\rho_c$	$0.23(4)$
Tham số mật độ Neutrino [a]	$\Omega_{\nu 0} = \rho_{\nu 0}/\rho_c$	0.001 to 0.05
Tham số mật độ năng lượng tối [a]	$\Omega_{X0} = \rho_{X0}/\rho_c$	$0.73(4)$
Tham số trạng thái năng lượng tối	$w = p_X/\rho_X$	$-1.0(2)$
Khối lượng Baryon	m_b	$1.67 \cdot 10^{-27}\ \mathrm{kg}$
Mật độ số Baryon		$0.25(1)\ /\mathrm{m^3}$
Mật độ vật chất sáng		$3.8(2) \cdot 10^{-28}\ \mathrm{kg/m^3}$
Số ngôi sao trong vũ trụ	n_s	$10^{22\pm1}$
Số Baryon trong vũ trụ	n_b	$10^{81\pm1}$
Nhiệt độ nền vi ba [b]	T_0	$2.725(1)\ \mathrm{K}$
Số Photon trong vũ trụ	n_γ	10^{89}
Mật độ năng lượng Photon	$\rho_\gamma = \pi^2 k^4/(15T_0^4)$	$4.6 \cdot 10^{-31}\ \mathrm{kg/m^3}$
Mật độ số Photon		$410.89\ /\mathrm{cm^3}$ hay $400\ /\mathrm{cm^3}(T_0/2.7\ \mathrm{K})^3$
Biên độ nhiễu loạn mật độ	$\sqrt{S}$	$5.6(1.5) \cdot 10^{-6}$
Biên độ sóng hấp dẫn	$\sqrt{T}$	$< 0.71\sqrt{S}$
Thăng giáng khối lượng cho 8 Mpc	σ_8	$0.84(4)$
Chỉ số vô hướng	n	$0.93(3)$
Độ biến thiên của chỉ số vô hướng	$\mathrm{d}n/\mathrm{d}\ln k$	$-0.03(2)$
Chiều dài Planck	$l_{Pl} = \sqrt{\hbar G/c^3}$	$1.62 \cdot 10^{-35}\ \mathrm{m}$
Thời gian Planck	$t_{Pl} = \sqrt{\hbar G/c^5}$	$5.39 \cdot 10^{-44}\ \mathrm{s}$
Khối lượng Planck	$m_{Pl} = \sqrt{\hbar c/G}$	$21.8\ \mathrm{\mu g}$

BẢNG 60 (Tiếp theo) Các hằng số vũ trụ.

Đại lượng	Ký hiệu	Giá trị
Số khoảnh khắc trong lịch sử [a]	t_0/t_{Pl}	$8.7(2.8) \cdot 10^{60}$
Số điểm không-thời gian trong chân trời [a]	$N_0 = (R_0/l_{Pl})^3 \cdot (t_0/t_{Pl})$	$10^{244\pm1}$
Khối lượng trong chân trời	M	$10^{54\pm1}$ kg

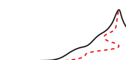
a. Chỉ số 0 chỉ giá trị hiện tại.
b. Bức xạ phát sinh khi vũ trụ được 380 000 tuổi và có nhiệt độ khoảng 3000 K; độ thăng giáng ΔT_0 dẫn tới việc hình thành thiên hà ngày nay khoảng $16 \pm 4\,\mu K = 6(2) \cdot 10^{-6}\,T_0$.

Quyển II, trang 236

Các số hữu ích

Xem 349

e	$2.71828\,18284\,59045\,23536\,02874\,71352\,66249\,77572\,47093\,69995_9$
π	$3.14159\,26535\,89793\,23846\,26433\,83279\,50288\,41971\,69399\,37510_5$
π^2	$9.86960\,44010\,89358\,61883\,44909\,99876\,15113\,53136\,99407\,24079_0$
γ	$0.57721\,56649\,01532\,86060\,65120\,90082\,40243\,10421\,59335\,93992_3$
ln 2	$0.69314\,71805\,59945\,30941\,72321\,21458\,17656\,80755\,00134\,36025_5$
ln 10	$2.30258\,50929\,94045\,68401\,79914\,54684\,36420\,76011\,01488\,62877_2$
$\sqrt{10}$	$3.16227\,76601\,68379\,33199\,88935\,44432\,71853\,37195\,55139\,32521_6$



Chương 18

Các nguồn thông tin về chuyển động

> Không có một nơi nào cung cấp cho chúng ta một niềm tin về sự hão huyền của hy vọng của con người sâu sắc hơn một thư viện công cộng.
>
> Samuel Johnson

> Trong một xã hội tiêu thụ chắc chắn có 2 loại nô lệ: tù nhân của nghiện ngập và tù nhân của ganh ty.
>
> Ivan Illich**

Trong sách này, những quyển sách hay, giới thiệu về các lĩnh vực liên quan được ghi trong phần Sách tham khảo. Phần tham khảo cũng giới thiệu các tạp chí và website dành cho những người muốn biết thêm về những điều đã gặp trong cuộc phiêu lưu này. Bạn cũng có thể tìm lại mọi trích dẫn bằng cách tra lại theo tên tác giả trong bảng tra cứu tên. Để tìm thêm thông tin, bạn có thể nhờ thư viện hay Internet.

Trong thư viện, các bài điểm duyệt về các công trình nghiên cứu mới, có trong các tạp chí như Reviews of Modern Physics, Reports on Progress in Physics, Contemporary Physics và Advances in Physics. Bạn có thể tìm thấy các bài nhập môn có tính sư phạm cao trong American Journal of Physics, the European Journal of Physics và Physik in unserer Zeit.

Các bài tổng quan về nghiên cứu thường xuất hiện trong các tạp chí Physics World, Physics Today, Europhysics Journal, Physik Journal và Nederlands tijdschrift voor natuurkunde. Đối với các báo cáo đa ngành, các nguồn thông tin tốt nhất là các tạp chí Nature, New Scientist, Naturwissenschaften, La Recherche và Science News.

Các bài báo nghiên cứu về nền tảng của chuyển động chủ yếu có trong Physics Letters B, Nuclear Physics B, Physical Review D, Physical Review Letters, Classical and Quantum Gravity, General Relativity and Gravitation, International Journal of Modern Physics và Modern Physics Letters. Các kết quả và các suy đoán mới nhất có thể tìm được trong các biên bản hội nghị khoa học như Nuclear Physics B Supplements. Các bài báo nghiên cứu cũng có trong Fortschritte der Physik, European Physical Journal, La Rivista del Nuovo Cimento, Europhysics Letters, Communications in Mathematical Physics, Journal of Mathematical Physics, Foundations of Physics, International Journal of Theoretical Physics và Journal of Physics G.

Chỉ có vài tạp chí vật lý trên Internet có chất lượng: Living Reviews in Relativity, ở địa chỉ www.livingreviews.org và New Journal of Physics, ở địa chỉ www.njp.org. Điều

** Ivan Illich (b. 1926 Vienna, d. 2002 Bremen), nhà thần học và tư tưởng gia về xã hội và chính trị.

không may là có nhiều tạp chí vật lý trên Internet đăng các bài nghiên cứu sai lầm. Cũng dễ nhận ra các tờ báo này: chúng đòi tiền để đăng bài.

Cho tới bây giờ cách đơn giản nhất để tiếp cận với các nghiên cứu về chuyển động và Vật lý hiện đại là sử dụng *Internet*, mạng máy tính quốc tế. Để biết cách sử dụng bạn hãy hỏi những người đã dùng.*

Trong thập niên cuối của thế kỷ 20, Internet mở rộng thành một tổ hợp thư viện, công cụ kinh doanh, nền tảng thảo luận, bộ sưu tập đa phương tiện, rác rưởi và quan trọng nhất là môi trường gây nghiện. Đừng lạm dụng. Buôn bán, quảng cáo – và rủi thay – các yếu tố gây nghiện đối với trẻ em, thanh niên và người trưởng thành, cũng như mọi loại tội ác cũng là một phần của web. Chỉ cần một PC, một modem và một trình duyệt miễn phí, bạn đã có thể tìm kiếm thông tin trong hàng triệu trang dữ liệu hay tự huỷ hoại sự nghiệp do nghiện ngập. Các phần dữ liệu khác nhau được đặt trên các máy tính khác nhau trên thế giới nhưng người sử dụng không cần biết về điều này.**

Phần lớn các bài báo vật lý lý thuyết đều miễn phí, vì là *bản in trước*, tức là bản trước khi được công bố chính thức và trước khi các thẩm định viên kiểm tra, có tại địa chỉ arxiv.org. Cũng có dịch vụ tìm kiếm các bản in trước tiếp theo có trích dẫn bản in trước đã có.

Bạn có thể tìm được các bài báo nghiên cứu về sự mô tả chuyển động xuất hiện *sau khi* quyển sách này được xuất bản qua địa chỉ www.webofknowledge.com, một site chỉ có thể truy cập được từ các thư viện. Site này giúp ta tìm ra mọi bài báo *trích dẫn* một bài báo đã có.

Việc tìm kiếm trên web các tác giả, tổ chức, sách, bài báo, công ty hay các từ khoá đơn giản bằng một công cụ tìm kiếm có thể là một kinh nghiệm bổ ích hay một giai thoại về nghiện ngập, hoàn toàn phụ thuộc vào bạn. Việc chọn các server thú vị về chuyển động được cho dưới đây.

---

* Ta cũng có thể sử dụng Internet và tải các tập tin qua giao thức FTP nhờ email. Các công cụ thay đổi thường xuyên đến nỗi ta khó đưa ra một hướng dẫn cố định. Hãy hỏi bạn của mình.

** Cách nay nhiều thập niên, quyển sách hấp dẫn của Ivan Illich, *Deschooling Society*, Harper & Row, 1971, đã liệt kê 4 thành phần cơ bản của một hệ thống giáo dục là:

1. đối với mọi người và vào mọi lúc, có quyền tiếp nhận *tài nguyên* dành cho việc học tập, thí dụ như sách, thiết bị, trò chơi,... với giá cả phải chăng;

2. đối với mọi người muốn học tập, có quyền *bình đẳng* trong điều kiện học tập, tranh luận, so sánh, hợp tác và cạnh tranh;

3. đối với người đang đi học có quyền được *bậc trưởng thượng*, thí dụ như giáo viên, chăm sóc và phê bình;

4. trong sự trao đổi giữa học sinh và *người trình bày* về lĩnh vực có liên quan thì người trình bày phải là kiểu mẫu để học sinh noi theo. Thí dụ như việc có điều kiện lắng nghe các nhạc sĩ chuyên nghiệp và đọc các tác phẩm của các cây bút tài danh. Điều này cũng giúp cho người biểu diễn có khả năng chia sẻ, quảng bá và trổ tài.

Illich cho rằng nếu có một hệ không có tính hình thức như vậy – ông gọi nó là 'web học tập' hay 'web cơ hội' – thì nó sẽ vượt trội so với các học viện hình thức của nhà nước, trong sự phát triển của con người. Những ý tưởng này được đào sâu trong các tác phẩm *Deschooling Our Lives*, Penguin, 1976, và *Tools for Conviviality*, Penguin, 1973.

Ngày nay, các máy tính có nối mạng đều cung cấp các dịch vụ *email* (thư điện tử), FTP (truyền file giữa các máy), truy cập vào các nhóm thảo luận về các chủ đề đặc biệt như Vật lý hạt, và *world-wide web*. Theo một cách không mong muốn, mọi tiện ích của Internet đã biến đổi nó thành xương sống của 'web cơ hội' mà Illich đã bàn đến. Tuy vậy, trong trường học, tuỳ theo kỷ luật của người sử dụng, Internet sẽ là nơi cung cấp một web học tập hay một môi trường gây nghiện.

BẢNG 61 Một số site thú vị trên Internet.

Chủ đề	Địa chỉ website
Kiến thức tổng quát	
Innovation in science and technology	www.innovations-report.de
Book collections	www.ulib.org
	books.google.com
Entertaining science education by Theodore Gray	www.popsci.com/category/popsci-authors/theodore-gray
Entertaining and professional science education by Robert Krampf	thehappyscientist.com
Science Frontiers	www.science-frontiers.com
Science Daily News	www.sciencedaily.com
Science News	www.sciencenews.org
Encyclopedia of Science	www.daviddarling.info
Interesting science research	www.max-wissen.de
Quality science videos	www.vega.org.uk
ASAP Science videos	plus.google.com/101786231119207015313/posts
Vật lý	
Learning physics with toys from rubbish	www.arvindguptatoys.com
Official SI unit website	www.bipm.fr
Unit conversion	www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/general/units.html
Particle data	pdg.web.cern.ch
Engineering data and formulae	www.efunda.com
Information on relativity	math.ucr.edu/home/baez/relativity.html
Research preprints	arxiv.org
	www.slac.stanford.edu/spires
Abstracts of papers in physics journals	www.osti.gov
Many physics research papers	sci-hub.tv, sci-hub.la
	libgen.pw, libgen.io
Physics news, weekly	www.aip.org/physnews/update
Physics news, daily	phys.org
Physics problems by Yacov KantorKantor, Yacov	www.tau.ac.il/~kantor/QUIZ/
Physics problems by Henry Greenside	www.phy.duke.edu/~hsg/physics-challenges/challenges.html
Physics 'question of the week'	www.physics.umd.edu/lecdem/outreach/QOTW/active
Physics 'miniproblem'	www.nyteknik.se/miniproblemet
Physikhexe	physik-verstehen-mit-herz-und-hand.de/html/de-6.html

Chủ đề	Địa chỉ website
Magic science tricks	www.sciencetrix.com
Physics stack exchange	physics.stackexchange.com
'Ask the experts'	www.sciam.com/askexpert_directory.cfm
Nobel Prize winners	www.nobel.se/physics/laureates
Videos of Nobel Prize winner talks	www.mediatheque.lindau-nobel.org
Pictures of physicists	www.if.ufrj.br/famous/physlist.html
Physics organizations	www.cern.ch
	www.hep.net
	www.nikhef.nl
	www.het.brown.edu/physics/review/index.html
Physics textbooks on the web	www.physics.irfu.se/CED/Book
	www.biophysics.org/education/resources.htm
	www.lightandmatter.com
	www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index_en.html
	www.feynmanlectures.info
	hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hph.html
	www.motionmountain.net
Three beautiful French sets of notes on classical mechanics and particle theory	feynman.phy.ulaval.ca/marleau/notesdecours.htm
The excellent *Radical Freshman Physics* by David Raymond	www.physics.nmt.edu/~raymond/teaching.html
Physics course scripts from MIT	ocw.mit.edu/courses/physics/
Physics lecture scripts in German and English	www.akleon.de
'World lecture hall'	wlh.webhost.utexas.edu
Optics picture of the day	www.atoptics.co.uk/opod.htm
Living Reviews in Relativity	www.livingreviews.org
Wissenschaft in die Schulen	www.wissenschaft-schulen.de
Videos of Walter Lewin'sChỉ mụcLewin, Walter physics lectures	ocw.mit.edu/courses/physics/ 8-01-physics-i-classical-mechanics-fall-1999/
Physics videos of Matt Carlson	www.youtube.com/sciencetheater
Physics videos by the University of Nottingham	www.sixtysymbols.com
Physics lecture videos	www.coursera.org/courses?search=physics
	www.edx.org/course-list/allschools/physics/allcourses

Toán học

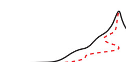
Chủ đề	Địa chỉ website
'Math forum' internet resource collection	mathforum.org/library
Biographies of mathematicians	www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/BiogIndex.html
Purdue math problem of the week	www.math.purdue.edu/academics/pow
Macalester College maths problem of the week	mathforum.org/wagon
Mathematical formulae	dlmf.nist.gov
Weisstein's World of Mathematics	mathworld.wolfram.com
Functions	functions.wolfram.com
Symbolic integration	www.integrals.com
Algebraic surfaces	www.mathematik.uni-kl.de/~hunt/drawings.html
Math lecture videos, in German	www.j3l7h.de/videos.html
Gazeta Matematica, in Romanian	www.gazetamatematica.net
Thiên văn học	
ESA	sci.esa.int
NASA	www.nasa.gov
Hubble space telescope	hubble.nasa.gov
Sloan Digital Sky Survey	skyserver.sdss.org
The 'cosmic mirror'	www.astro.uni-bonn.de/~dfischer/mirror
Solar System simulator	space.jpl.nasa.gov
Observable satellites	liftoff.msfc.nasa.gov/RealTime/JPass/20
Astronomy picture of the day	antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html
The Earth from space	www.visibleearth.nasa.gov
From Stargazers to Starships	www.phy6.org/stargaze/Sintro.htm
Current solar data	www.n3kl.org/sun
Các chủ đề đặc biệt	
Sonic wonders to visit in the world	www.sonicwonders.org
Encyclopedia of photonics	www.rp-photonics.com
Chemistry textbook, online	chemed.chem.wisc.edu/chempaths/GenChem-Textbook
Minerals	webmineral.com
	www.mindat.org
Geological Maps	onegeology.org
Optical illusions	www.sandlotscience.com
Rock geology	sandatlas.org
Petit's science comics	www.jp-petit.org
Physical toys	www.e20.physik.tu-muenchen.de/~cucke/toylinke.htm

Chủ đề	Địa chỉ website
Physics humour	www.dctech.com/physics/humor/biglist.php
Literature on magic	www.faqs.org/faqs/magic-faq/part2
Petrucci music library, searchable by tune	imslp.org
Making paper aeroplanes	www.pchelp.net/paper_ac.htm
	www.ivic.qc.ca/~aleexpert/aluniversite/klinevogelmann.html
Small flying helicopters	pixelito.reference.be
Science curiosities	www.wundersamessammelsurium.info
Ten thousand year clock	www.longnow.org
Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte	www.gdnae.de
Pseudoscience	suhep.phy.syr.edu/courses/modules/PSEUDO/pseudo_main.html
Crackpots	www.crank.net
Periodic table with videos for each element	www.periodicvideos.com
Mathematical quotations	math.furman.edu/mwoodard/~mquot.html
The 'World Question Center'	www.edge.org/questioncenter.html
Plagiarism	www.plagiarized.com
Hoaxes	www.museumofhoaxes.com
Encyclopedia of Earth	www.eoearth.org
This is colossal	thisiscolossal.com

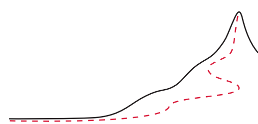
Bạn có muốn học Vật lý mà không cần tới đại học không? Hiện nay bạn có thể làm được điều này thông qua email và internet, tại Đại học Kaiserslautern ở Đức.* Sắp tới, một dự án quốc gia ở Anh cũng sẽ cho phép sinh viên nói tiếng Anh được học như vậy. Hãy sử dụng những phần cập nhật của quyển sách này xem như phần nhập môn!

> Das Internet ist die offenste Form der geschlossenen Anstalt.**
>
> Matthias Deutschmann

> Si tacuisses, philosophus mansisses.***
>
> Theo Boethius.



* Hãy ghé website www.fernstudium-physik.de.
** 'Internet là dạng mở rộng nhất của một học viện đóng.'
*** 'Nếu bạn đã giữ im lặng, bạn vẫn còn là một triết gia.' Theo câu chuyện mà Boethius (*c.* 480–*c.* 525) kể lại trong *De consolatione philosophiae*, 2.7, 67 ff.



Gợi ý và lời giải các câu đố

> Đừng bao giờ tính toán trước khi bạn biết câu trả lời.
>
> Châm ngôn của John Wheeler

John Wheeler muốn mọi người ước tính, thử và đoán nhưng không đọc to kết quả. Một ước đoán đúng sẽ tăng cường bản năng vật lý, trong khi một ước đoán sai sẽ làm cho ta vui vì sự bất ngờ. Như vậy ước đoán là bước đầu tiên quan trọng trong việc giải mọi bài toán.

Giáo viên cũng cần nhớ vài tiêu chuẩn khác. Một bài toán tốt có thể được giải ở các mức độ khó khác nhau, có thể giải bằng lời, bằng hình ảnh hay bằng công thức, kích hoạt kiến thức, liên quan đến các ứng dụng trong thế giới thực và có tính mở.

Câu đố 1, trang 10: Đừng vội vã đòi hỏi khắt khe. Ấn bản kế tiếp của sách sẽ được lợi vì điều này.

Câu đố 2, trang 16: Có nhiều cách để phân biệt chuyển động thực và ảo thị: thí dụ như ta chỉ có thể sử dụng chuyển động thực để làm cho vật khác chuyển động. Ngoài ra, ảo thị bộc lộ một thiếu sót quan trọng; không có gì chuyển động nếu đầu và giấy không chuyển động đối với nhau. Nói cách khác, ảo thị chỉ *khuếch đại* chuyển động đang có, nó không *tạo ra* chuyển động từ không chuyển động.

Câu đố 3, trang 17: Không cần các thí nghiệm chính xác và chi tiết, cả hai bên đều có thể tìm thấy các thí dụ để ủng hộ cho quan điểm của mình. Sự sáng tạo được chứng minh bằng sự xuất hiện của mốc hay vi khuẩn trong một ly nước; sự sáng tạo cũng được chứng minh nhờ các sự kiện ngược lại, cụ thể là sự biến mất không để lại dấu vết, như chuyển động chẳng hạn. Tuy vậy, sự bảo toàn được chứng minh, đồng thời với sự thất bại của sự sáng tạo, nhờ các nghiên cứu tìm hiểu thật đầy đủ những trường hợp xuất hiện hay biến mất giả định.

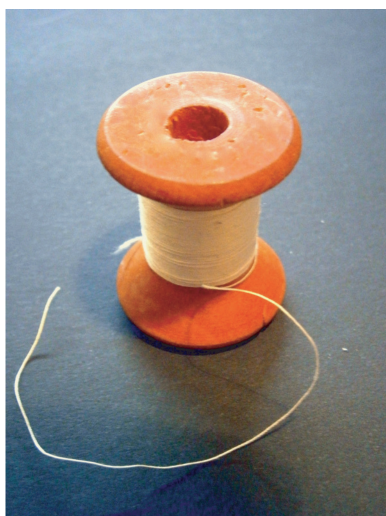
Câu đố 4, trang 19: Lượng nước tuỳ thuộc vào hình dạng cái xô. Xô sẽ nghiêng hay thẳng đứng sao cho trọng tâm của hệ thấp nhất.

Câu đố 5, trang 20: Để đơn giản, ta giả sử xô có hình trụ. Nếu cần bạn có thể làm thí nghiệm tại nhà. Đối với cuộn chỉ, hình vẽ sai: cuộn chỉ lăn trên vành có đường kính *lớn hơn* đường kính của phần lõi mà chỉ cuộn lên. Sợi chỉ không chạm sàn như trong Hình 304.

Câu đố 6, trang 20: Các đảng phái chính trị, các giáo phái, các tổ chức từ thiện và các nhà trị liệu điển hình cho cách ứng xử này.

Câu đố 7, trang 24: Vấn đề này chưa được giải quyết rốt ráo đối với chuyển động của không gian trống rỗng, như trong trường hợp của sóng hấp dẫn. Như vậy, chuyển động này có thể là một ngoại lệ. Dù gì đi nữa thì không gian trống rỗng cũng không được tạo thành từ các hạt nhỏ có kích thước hữu hạn vì điều này sẽ mâu thuẫn với tính ngang của sóng hấp dẫn.

Câu đố 8, trang 27: Lỗ không phải là hệ vật lý vì nói chung ta không thể dò ra dấu vết của chúng.



HÌNH 304 Hình dạng của cuộn chỉ trong câu đố.

Câu đố 9, trang 27: Định nghĩa lòng vòng là: vật được định nghĩa là những gì chuyển động đối với nền và nền được định nghĩa là những gì giữ nguyên khi vật thay đổi. Ta sẽ trở lại vấn đề quan trọng này nhiều lần trong cuộc phiêu lưu này. Tuy vậy để giải quyết vấn đề này cần một sự kiên nhẫn nào đó.

Trang 437

Câu đố 10, trang 28: Không, vũ trụ không có trạng thái. Nó không thể đo được, ngay cả về mặt nguyên tắc. Hãy xem các lập luận về vấn đề này ở quyển IV, về Thuyết lượng tử.

Quyển IV, trang 170

Câu đố 11, trang 29: Danh sách sau cùng của các tính chất nội tại của một hệ vật lý tìm thấy trong thiên nhiên được cho trong quyển V, phần Vật lý hạt. Và dĩ nhiên, vũ trụ không có các tính chất nội tại bất biến. Xét cả vũ trụ thì không có tính chất nào có thể đo được ngay cả về mặt nguyên tắc.

Quyển V, trang 262

Câu đố 12, trang 31: Gợi ý: có, có một điểm như vậy.

Câu đố 13, trang 32: Hãy xem Hình 305 của một giai đoạn trung gian. Một bong bóng vỡ tại một điểm và đường viền của lỗ nhanh chóng mở rộng cho tới khi nó biến mất ở điểm đối cực. Trong khi vỡ phần còn lại của bong bóng vẫn có dạng hình cầu như ta thấy trong hình. Film của quá trình có tại www.youtube.com/watch?v=dIZwQ24_OU0 (hay tìm kiếm từ 'bursting soap bubble'). Nói cách khác, những giọt sau cùng bắn ra từ điểm đối cực với điểm châm thủng; chúng không bao giờ bắn ra từ tâm của bong bóng.

Câu đố 14, trang 32: Một con ma không phải là một ảnh chuyển động; nó không thể là một vật chuyển động, vì vật thể không thể xuyên qua được.

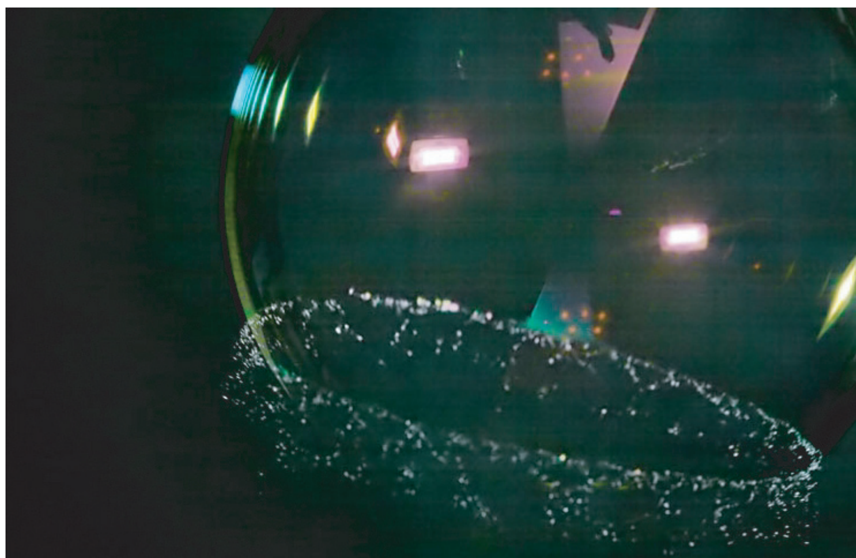
Quyển IV, trang 137

Câu đố 15, trang 32: Nếu có một vật nào đó ngừng chuyển động, chuyển động có thể biến mất vào hư vô. Để chứng minh một cách chính xác, ta phải chứng minh rằng không còn nguyên tử nào chuyển động. Cho đến nay, ta chưa thấy điều này xảy ra: chuyển động được bảo toàn. (Không có gì trong thiên nhiên có thể biến mất mà không để lại cái gì.)

Câu đố 16, trang 32: Điều này thực sự có nghĩa rằng không gian là vô hạn; tuy vậy, ta không thể thấy được vật chuyển động 'mãi mãi': không có vật nào tồn tại quá lâu. Tóm lại, không thể chứng minh rằng không gian vô hạn bằng lập luận như vậy. Đúng ra cũng không có cách nào khác để chứng minh rằng không gian vô hạn.

Câu đố 17, trang 32: Chiều dài dây cần thiết là nh, trong đó n là số ròng rọc. Có, hợp lý.

Câu đố 19, trang 32: Làm cách nào bạn đo được chuyển động này?



HÌNH 305 Một bong bóng xà bông trong khi vỡ (© Peter Wienerroither).

Câu đố 20, trang 32: Số chữ số có thể tin cậy được trong kết quả đo là một định lượng đơn giản của độ chính xác. Bạn có thể tìm thêm thông tin bằng cách tham khảo mục 'độ lệch tiêu chuẩn' trong bảng tra cứu.

Câu đố 21, trang 32: Không; ta cần có trí nhớ để quan sát và đo đạc. Đây là trường hợp của người và dụng cụ đo. Thuyết lượng tử sẽ đặc biệt làm rõ điều này.

Câu đố 22, trang 32: Nên nhớ rằng ta không bao giờ quan sát được tốc độ zero. Luôn luôn có một sai số đo nên ta không thể nói về một đại lượng bằng 0. Điều này không có ngoại lệ!

Câu đố 23, trang 32: $(2^{64} - 1) = 18\,446\,744\,073\,700\,551\,615$ hạt lúa mì, mỗi hạt nặng 40 mg, tức 738 tỉ tấn. Một mùa thu hoạch trên thế giới năm 2006 được 606 triệu tấn, số lượng hạt lúa cần 1200 năm thu hoạch.

Việc tính số hạt lúa khá đơn giản nhờ sử dụng công thức $1 + m + m^2 + m^3 + ...m^n = (m^{n+1} - 1)/(m - 1)$, cho ta tổng của một *dãy hình học*. Tên dãy có tính lịch sử và được dùng để phân biệt với *dãy số học* $1 + 2 + 3 + 4 + 5 + ...n = n(n + 1)/2$. Bạn có thể chứng minh 2 công thức này không?

Truyền thuyết về cờ vua được Ibn Khallikan (b. 1211 Arbil, d. 1282 Damascus) kể lại lần đầu tiên. Vua Shiram và vua Balhait, trong truyền thuyết là những nhân vật lịch sử sống trong khoảng từ thế kỷ 2 đến thế kỷ 4 CE. Truyền thuyết này được ghép nối từ 2 truyện khác nhau. Thật ra việc tính toán đã xuất hiện vào năm 947, trong quyển sách nổi tiếng *Meadows of Gold and Mines of Precious Stones* của Al-Masudi (b. *c.* 896 Baghdad, d. 956 Cairo).

Câu đố 24, trang 33: Trong các thí nghiệm hoàn chỉnh, ngọn lửa nghiêng về phía trước nhưng những thí nghiệm như vậy không phải dễ làm và đôi khi ngọn lửa lại nghiêng về phía sau. Bạn chỉ cần làm thử sẽ thấy. Bạn có thể giải thích cả 2 trường hợp không?

Câu đố 25, trang 33: Gia tốc kế là thiết bị phát hiện chuyển động đơn giản nhất. Chúng là các thiết bị áp điện sẽ tạo ra tín hiệu khi hộp có gia tốc và có giá dưới 1 euro. Một gia tốc kế trong tương lai là gia tốc kế giao thoa ứng dụng chuyển động của một cách tử giao thoa; thiết bị này có thể tích hợp trong silic. Các giao thoa kế chính xác hơn sử dụng con quay hồi chuyển hay các chùm laser chạy theo các quỹ đạo tròn.

Vận tốc kế và máy phát hiện vị trí cũng có thể dò ra chuyển động; chúng cần 1 bánh xe hay ít nhất một phương pháp quang học để tìm ra cái hộp. Tốc kế trong xe hơi là một thí dụ, chuột

máy tính là thí dụ về máy phát hiện vị trí.

Một thiết bị rẻ tiền sẽ là công cụ hoàn hảo để đo tốc độ của người trượt tuyết hay người trượt băng. Chưa có những thiết bị như vậy.

Câu đố 26, trang 33: Banh sẽ lăn (hay trượt) về trung tâm bàn, vì tâm bàn gần tâm Trái đất hơn cạnh bàn; rồi banh trượt đi và dao động quanh tâm bàn. Chu kỳ dao động là 84 phút, như được trình bày trong 405. (Tuy vậy cho đến nay ta chưa thấy điều này. Tại sao?)

Câu đố 27, trang 33: Bạn chỉ làm được nếu gia tốc khác không. Ta có thể cảm thấy gia tốc. Gia tốc kế là dụng cụ đo gia tốc và suy ra vị trí. Chúng được sử dụng trên phi cơ khi bay trên Đại tây dương. Nếu hộp không có gia tốc, ta không thể nói là nó chuyển động hay đứng yên. Thậm chí ta cũng không thể nói nó chuyển động theo hướng nào. (Hãy nhắm mắt trong các chuyến tàu đêm để kiểm chứng điều này.)

Câu đố 28, trang 33: Vật chuyển động nhanh hơn các hình trụ 2 lần, độc lập với bán kính của chúng.

Câu đố 29, trang 33: Phương pháp này cũng có tác dụng đối với các nỗi lo sợ khác.

Câu đố 30, trang 34: Cần 11 lượt đi. Hai cặp thì cần 5. Nếu số cặp nhiều hơn 3 thì không có lời giải. Bài toán sẽ được giải như thế nào nếu có n cặp $n-1$ chỗ trên thuyền?

Câu đố 31, trang 34: Gợi ý: Có vô số hình như vậy. Những đường cong này còn được gọi là *đường cong Reuleaux*. Một gợi ý khác: các đồng tiền 20 p và 50 p ở Anh có hình dạng như vậy. Và cũng có nhiều hình khác hình trụ thí dụ như một thanh vuông xoắn lại.

Câu đố 32, trang 34: Nếu bạn không biết bạn có thể nhờ thợ sửa bàn ghế cũ.

Câu đố 33, trang 34: Đối với bài toán thú vị này bạn có thể xem arxiv.org/abs/1203.3602.

Câu đố 34, trang 34: Tính bảo toàn, tương đối và cực tiểu hoá luôn luôn đúng. Trong một số quá trình hiếm hoi trong Vật lý hạt nhân, bất biến chuyển động (tính thuận nghịch) cũng như tính bất biến gương bị vi phạm. Tính liên tục không còn đúng khi chiều dài và khoảng thời gian rất nhỏ nhưng chưa có thí nghiệm nào tiến hành ở điều kiện đó nên trong thực tế nó vẫn được xem là đúng.

Câu đố 35, trang 35: Trong đời sống hằng ngày, điều này đúng; Điều gì sẽ xảy ra nếu ta tính đến các hiệu ứng lượng tử?

Câu đố 36, trang 37: Hãy lấy độ biến thiên khoảng cách trung bình của 2 nguyên tử kế cận trong một miếng thạch anh trên 1 triệu năm qua. Bạn có biết hiện tượng gì chậm hơn nữa không?

Câu đố 37, trang 38: Chỉ có một cách: so sánh vận tốc cần đo với tốc độ ánh sáng – bằng cách sử dụng các gương được xếp đặt một cách thông minh. Đúng ra hầu hết các sách vật lý, trung học cũng như đại học, đều bắt đầu với việc định nghĩa không gian và thời gian. Nếu không thì sách giáo khoa về Thuyết tương đối sẽ gặp khó khăn khi phải tránh thói quen này, ngay cả những quyển sách k-calculus sơ cấp tiêu chuẩn hiện nay (thực ra nó là cách tiếp cận được đề cập ở đây). Việc bắt đầu với vận tốc là cách tiếp cận hợp lý và tao nhã nhất. Nhưng ta cũng có thể so sánh tốc độ với thước đo và đồng hồ. Bạn có đề nghị một phương pháp nào không?

Câu đố 38, trang 38: Không có cách nào cảm nhận được chuyển động nếu bạn ở trong chân không kể cả về mặt nguyên tắc. Kết quả này thường được gọi là *nguyên lý tương đối*.

Trang 157

Đúng ra có cách đo chuyển động trong không gian nhưng không phải là chân không: đo tốc độ của bạn đối với bức xạ nền vũ trụ. Vì vậy ta phải thận trọng về hàm ý của câu hỏi này.

Câu đố 39, trang 38: Tải trọng trên cánh W/A, tỷ số giữa trọng lượng W và diện tích cánh A, hiển nhiên là tỷ lệ với căn bậc 3 của trọng lượng. (Thật vậy, $W \sim l^3$, $A \sim l^2$, l là thứ nguyên của vật bay.) Hệ thức này cho ta đường xu hướng xanh lá cây.

Tải trọng trên cánh W/A, tỷ số giữa trọng lượng W và diện tích cánh A, giống như lực trong lưu chất, tỷ lệ với bình phương tốc độ v: ta có $W/A = v^2 0.38\,\mathrm{kg/m^3}$. Thừa số chứa mật độ không



HÌNH 306 Các tia nắng trong một khu rừng (© Fritz Bieri and Heinz Rieder).

khí và một hệ số tổng quát rất khó tính toán. Hệ thức này kết nối hai thang đo trên và dưới trong đồ thị.

Kết quả là, tốc độ du hành tỷ lệ với *căn bậc 6* của trọng lượng: $v \sim W^{1/6}$. Nói cách khác, một chiếc Airbus A380 nặng hơn một con ruồi 750 000 triệu lần nhưng chỉ bay nhanh hơn 100 lần.

Câu đố 41, trang 42: Tương tự như: điểm trong không gian có hiện hữu không? Phần cuối của cuộc phiêu lưu sẽ tìm hiểu điều này kỹ hơn.

Quyển VI, trang 65

Câu đố 42, trang 43: Mọi nguồn điện phải được sử dụng cùng phase khi chúng đưa điện năng vào lưới điện. Đồng hồ của máy tính trên internet phải được đồng bộ hoá.

Câu đố 43, trang 43: Cũng nên nhớ rằng độ lệch tăng bậc 2 theo thời gian chứ không phải tăng tuyến tính.

Câu đố 44, trang 44: Galilei đo thời gian bằng một cái cân (cùng với các phương pháp khác). Đồng hồ của ông là một ống nước mà ông bịt bằng ngón cái, ở trên một cái xô. Để bắt đầu chạy, ông bỏ ngón cái ra, để ngừng đồng hồ, ông bịt nó lại. Thể tích nước trong xô cho ông số đo của thời khoảng. Điều này được ông kể lại trong quyển sách nổi tiếng Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla mecanica e i movimenti locali*, thường được gọi là 'Discorsi', xuất bản năm 1638 ở nhà in Louis Elsevier, Leiden, Hoà Lan.

Câu đố 45, trang 45: Thời gian tự nhiên được đo bằng chuyển động tự nhiên. Chuyển động tự nhiên là chuyển động của ánh sáng. Như vậy thời gian tự nhiên được xác định bằng chuyển động của ánh sáng.

Câu đố 46, trang 49: Không có cách xác định thời gian địa phương ở địa cực nhất quán với mọi điểm lân cận. (Đối với những người tò mò, hãy xem website www.arctic.noaa.gov/gallery_np.html.)

Câu đố 48, trang 51: Rừng thì đầy ánh sáng và tia sáng: chúng là đường thẳng như các tia nắng trong Hình 306.

Câu đố 49, trang 51: Một cặp bắp thịt di chuyển thuỷ tinh thể dọc theo trục thứ 3 bằng cách làm cho mắt biến dạng thành hình phỏng cầu dài hay dẹt.

Câu đố 50, trang 52: Bạn có thể giải bài này bằng cách thử suy nghĩ trong không gian 4 chiều. (Hãy tập sử dụng phép chiếu 3 chiều của hình lập phương 4 chiều.) Hãy thử hình dung cách đảo thứ tự động tác khi gặp 2 mảnh chéo nhau. Ghi chú: trong phần này ta sẽ mắc sai lầm nếu dùng thời gian thay cho chiều *không gian* thứ 4!

Câu đố 51, trang 53: Đo khoảng cách bằng cách sử dụng ánh sáng.

Câu đố 54, trang 57: Nếu ta thực hiện việc này với hình xuyến đơn vị thì dễ hơn. Lấy một đoạn $[0,1]$ và chập 2 đầu với nhau. Xác định một tập hợp B trong đó các phần tử là một số thực b nằm trong đoạn đó cộng với mọi số sai khác với nó một số hữu tỷ. Vòng tròn chiều dài đơn vị có thể xem như là phần hội của mọi tập hợp B. (Đúng ra mỗi tập hợp B là một bản sao có sai khác của tập hợp $\mathbb{Q}$.) Bây giờ xây dựng tập hợp A bằng cách lấy một phần tử của mỗi tập hợp B. Rồi xây dựng một họ tập hợp bao gồm A và bản sao A_q của nó sai khác một số hữu tỷ q. Phần hội của tất cả các tập hợp này là vòng xuyến đơn vị. Họ tập hợp này là vô hạn có thể đếm được. Sau đó chia nó thành *2* họ tập hợp vô hạn đếm được. Ta dễ dàng thấy rằng mỗi họ có thể được đánh số lại và các phần tử của nó được dịch đi sao cho mỗi họ tạo thành một vòng xuyến đơn vị.

Xem 44

Các toán gia nói rằng $\mathbb{R}^n$ không có độ đo cộng tính vô hạn đếm được hay A không thể đo được. Kết quả là ta có 'phép nhân' chiều dài. Sau này ta sẽ tìm hiểu xem bánh mì hay *vàng* có thể nhân theo cách này được không.

Câu đố 55, trang 58: Gợi ý: bắt đầu với tam giác.

Câu đố 56, trang 58: Một thí dụ là miền nằm giữa trục x và hàm: bằng 1 đối với mọi số siêu việt và bằng 0 với mọi số không siêu việt.

Câu đố 57, trang 59: Ta dùng định nghĩa của hàm trong sách này. Góc nhị diện của tứ diện đều là một bội vô tỷ của π, vì vậy tứ diện có bất biến Dehn khác 0. Hình lập phương có góc nhị diện là $\pi/2$ nên bất biến Dehn của nó là 0. Do đó, hình lập phương không thể chia đều thành các tứ diện đều.

Câu đố 58, trang 59: Nếu bạn nghĩ là mình có thể chứng minh rằng không gian trống rỗng là liên tục thì bạn đã sai. Hãy kiểm tra lại các lập luận của mình. Nếu bạn nghĩ là mình có thể chứng minh điều ngược lại thì bạn *có thể* đúng – với điều kiện bạn đã biết những điều được giải thích trong phần cuối cùng của quyển sách này. Nếu không đúng như vậy, bạn hãy kiểm tra lại lập luận của mình. Đúng ra thời gian không rời rạc cũng không liên tục.

Câu đố 60, trang 61: Dĩ nhiên ta sử dụng ánh sáng để kiểm tra tính thẳng của dây dọi, vì vậy 2 định nghĩa tương đương với nhau. Điều này đúng như vậy vì trường tuyến của trọng lực cũng có thể là quỹ đạo của tia sáng. Tuy vậy, điều này không phải lúc nào cũng đúng; bạn có thể nêu ra một ngoại lệ không?

Còn một cách kiểm tra tính thẳng là dùng mặt nước yên tĩnh.

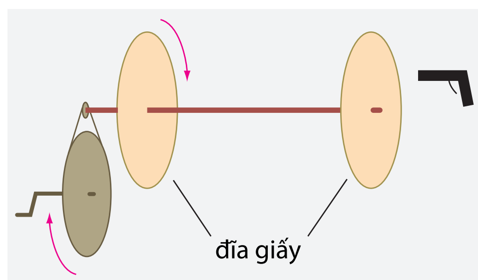
Cách thứ 3 ít chính xác hơn, là sử dụng cảm biến về tính thẳng nằm trong não. Não người có khả năng xác định một vật mà ta nhìn thấy có thẳng hay không. Trong não có các tế bào đặc biệt sẽ hoạt động khi gặp trường hợp này. Một quyển sách bất kỳ bàn về thị giác sẽ cho ta hiểu rõ hơn về vấn đề này.

Câu đố 61, trang 61: Thuyết Trái đất rỗng sẽ đúng nếu công thức tính khoảng cách được sử dụng một cách nhất quán. Đặc biệt, người ta phải giả sử rằng vật sẽ trở nên nhỏ hơn khi tiến gần tới tâm hình cầu rỗng. Cách giải thích tốt nhất về mọi sự kiện sẽ có ở trang www.geocities.com/inversedearth. Bạn có thể tìm được nhiều tài liệu trên Internet, dưới tên hệ thiên tâm, thuyết nội thế hay thuyết Trái đất lõm. Không có lý do gì để ủng hộ cách mô tả này hơn cách mô tả khác ngoại trừ lý do đơn giản và lười suy nghĩ.

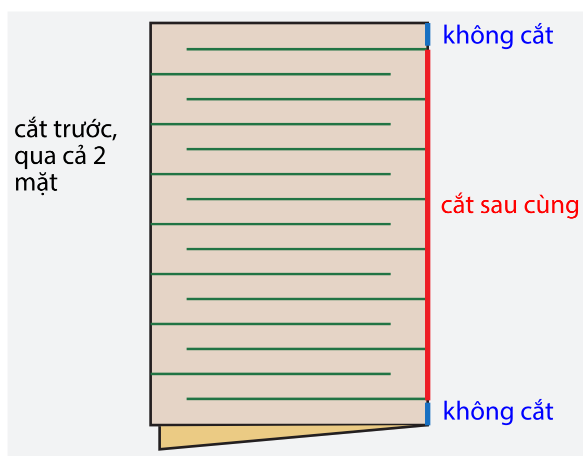
Câu đố 63, trang 62: Một gợi ý được cho trong Hình 307. Về phương pháp tương tự dùng đo tốc độ ánh sáng bạn hãy xem quyển II, ở Trang 22.

Câu đố 64, trang 62: Xe gắn máy nhanh hơn: một tay lái xe gắn máy có thể bắt được mũi tên, như đã được biểu diễn trong một màn quảng cáo trên chương trình TV Đức 'Wetten dass' năm 2001.

Câu đố 65, trang 62: Hình dạng 'duy nhất' tránh cho một nắp đậy rơi xuống cống là hình tròn. Thật ra ta có thể dùng nắp có hình dạng hơi khác hình tròn.



HÌNH 307 Một phương pháp đơn giản dùng để đo tốc độ viên đạn.



HÌNH 308 Cách tạo ra một lỗ trống trên một bưu thiếp để ta có thể đi xuyên qua nó.

Câu đố 68, trang 63: Tốc độ đi bộ của người già tuỳ thuộc vào sức khoẻ của họ. Nếu họ khoẻ, họ sẽ đi nhanh hơn 1.4 m/s. Bài báo kết luận rằng thần chết thích đi với tốc độ 0.82 m/s và tốc độ lớn nhất là 1.36 m/s.

Xem 378

Câu đố 69, trang 63: 72 bậc.

Câu đố 73, trang 63: Xem Hình 308 để biết cách thực hiện kỳ công này.

Câu đố 74, trang 63: Với sai số 1/100, tỷ lệ chất lỏng phải chiếm *4/5* chiều cao; giá trị chính xác suy ra từ $\sqrt[3]{2} = 1.25992...$

Câu đố 75, trang 64: Một viết chì vẽ được 1 đoạn thẳng dài từ 20 đến 80 km, không kể chì bị mất khi chuốt. Không có số liệu về số viết chì mềm dẻo mới phát minh.

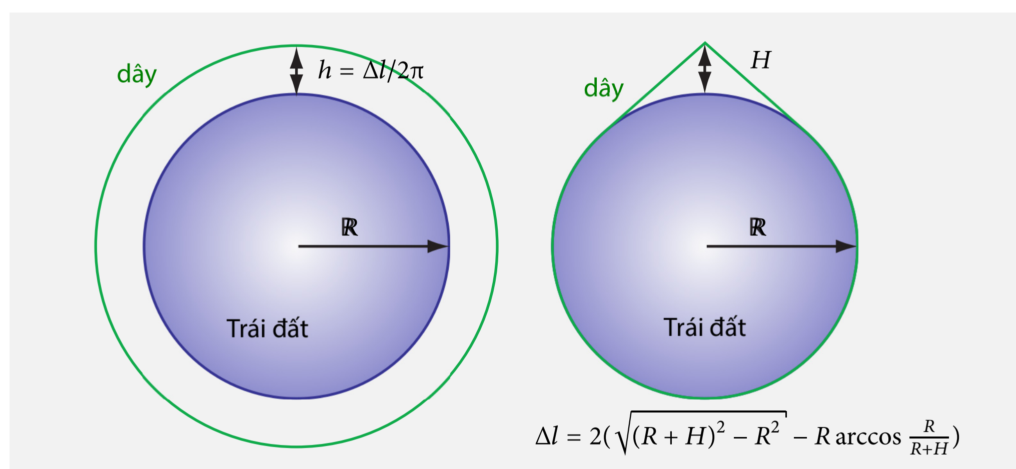
Câu đố 79, trang 64: Con gấu màu trắng vì nhà ở ngay Bắc cực. Nhưng có vô hạn số điểm (không có gấu) gần Nam cực: bạn có thể tìm ra chúng không?

Câu đố 80, trang 65: Ta gọi L là chiều dài ban đầu của dây cao su, v là tốc độ của ốc sên đối với dây và V là tốc độ của ngựa đối với đất. Tốc độ của ốc sên đối với sàn là

$$\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = v + V\frac{s}{L + Vt} . \tag{128}$$

Đây là *phương trình vi phân* đối với vị trí của ốc sên $s(t)$. Bạn có thể kiểm tra – bằng phép thế đơn giản – lời giải của bài toán là

$$s(t) = \frac{v}{V}(L + Vt)\ln(1 + Vt/L) . \tag{129}$$



HÌNH 309 Hai cách kéo dài sợi dây quanh trái đất.

Do đó ốc sên tới chỗ con ngựa vào lúc

$$t_{\text{đến}} = \frac{L}{V}(e^{V/v} - 1) \tag{130}$$

là một số hữu hạn đối với mọi giá trị của L, V và v. Tuy vậy bạn có thể thấy là thời gian này rất lớn nếu ta sử dụng các tốc độ trong thực tế.

Câu đố 81, trang 65: Màu là tính chất áp dụng cho một vật chứ không áp dụng cho một đường ranh giới. Trong trường hợp vừa kể, chỉ có điểm và nền có màu. Câu hỏi này chứng tỏ rằng người ta dễ đặt ra những câu hỏi vô nghĩa trong Vật lý.

Câu đố 82, trang 65: Bạn có thể tự làm điều này một cách dễ dàng. Bạn cũng có thể tìm ra website về chủ đề này.

Câu đố 84, trang 65: Đồng hồ 2 kim: 22 lần. Đồng hồ 3 kim: 2 lần.

Câu đố 85, trang 65: 44 lần.

Câu đố 86, trang 65: Đồng hồ 2 kim, 143 lần.

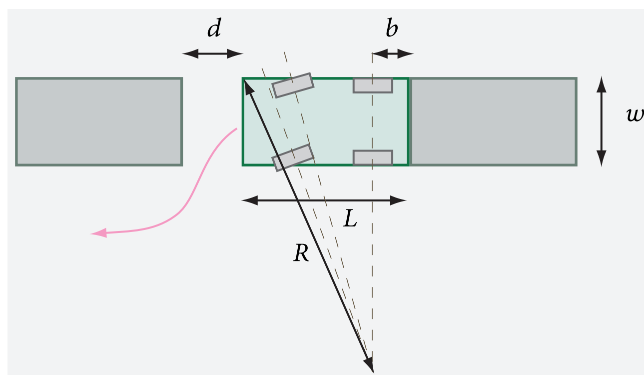
Câu đố 87, trang 65: 15 phút.

Câu đố 88, trang 65: Bạn có thể ngạc nhiên vì không có dữ liệu đáng tin cậy trong câu hỏi này. Tính cho đến nay, tốc độ ném lớn nhất hình như là 45 m/s của bóng cricket. Ngoài ra có nhiều dữ liệu về tốc độ đạt được khi có dùng vợt. Tốc độ *c.* 70 m/s của một cú smash vũ cầu đang giữ kỷ lục; các quả golf cũng có tốc độ tương tự.

Câu đố 89, trang 65: Một *khoảng trống* khi nối dây 1 m cho phép nhiều con mèo chui qua, như ta thấy ở hình bên trái của Hình 309. Nhưng hình bên phải trình bày một cách sử dụng dây tốt hơn như Dimitri Yatsenko đã chỉ ra: một sự kéo dài *địa phương* 1 mm đã tạo ra chiều cao 1.25 m, nên một đứa trẻ có thể đi qua. Đúng ra khi kéo dài dây 1 m theo cách này sẽ tạo ra một chiều cao 121 m!

Câu đố 90, trang 66: 1.8 km/h hay 0.5 m/s.

Câu đố 92, trang 66: Câu hỏi này chỉ có ý nghĩa nếu ta đặt tình trạng của mình trong mối quan hệ với thế giới bên ngoài, như lịch sử của dòng họ hay lịch sử vũ trụ. Việc sử dụng khác nhau phản ánh một điều là ta có thể tự xác định vị trí của mình nhưng không thể xác định được thời
Trang 238 điểm ta đang sống. Đến phần tất định luận ta sẽ thấy sai lầm của sự phân biệt này.



HÌNH 310 Rời khỏi chỗ đậu xe – bán kính chuyển hướng ngoài.

Câu đố 93, trang 66: Có. Tuy vậy, điều này không hiển nhiên vì nó hàm ý rằng không gian và thời gian không liên tục mâu thuẫn với những điều ta học được trong trường tiểu học. Câu trả lời nằm ở phần cuối quyển sách này.

Câu đố 94, trang 66: Tại một điểm của đường cong, ta sử dụng bán kính cong của vòng tròn gần bằng với độ cong của đường tại điểm đó; đối với một mặt ta sử dụng 2 hướng tại một điểm và 2 vòng tròn dọc theo 2 hướng này.

Câu đố 95, trang 66: Khoảng 1 cm trong 50 ms.

Câu đố 96, trang 66: Diện tích bề mặt của phổi nằm trong khoảng từ 100 đến 200 m^2, tuỳ theo nguồn tư liệu và diện tích của ruột là từ 200 đến 400 m^2.

Câu đố 97, trang 67: Không có giới hạn trong Vật lý cổ điển; tuy vậy sẽ có một giới hạn trong thiên nhiên ngay khi ta tính đến các hiệu ứng lượng tử.

Câu đố 98, trang 67: Hình dạng sau cùng là một hình lập phương không có lỗ nào.

Câu đố 99, trang 67: Khoảng trống cần thiết d là

$$d = \sqrt{(L-b)^2 - w^2 + 2w\sqrt{R^2 - (L-b)^2}} - L + b \,, \qquad (131)$$

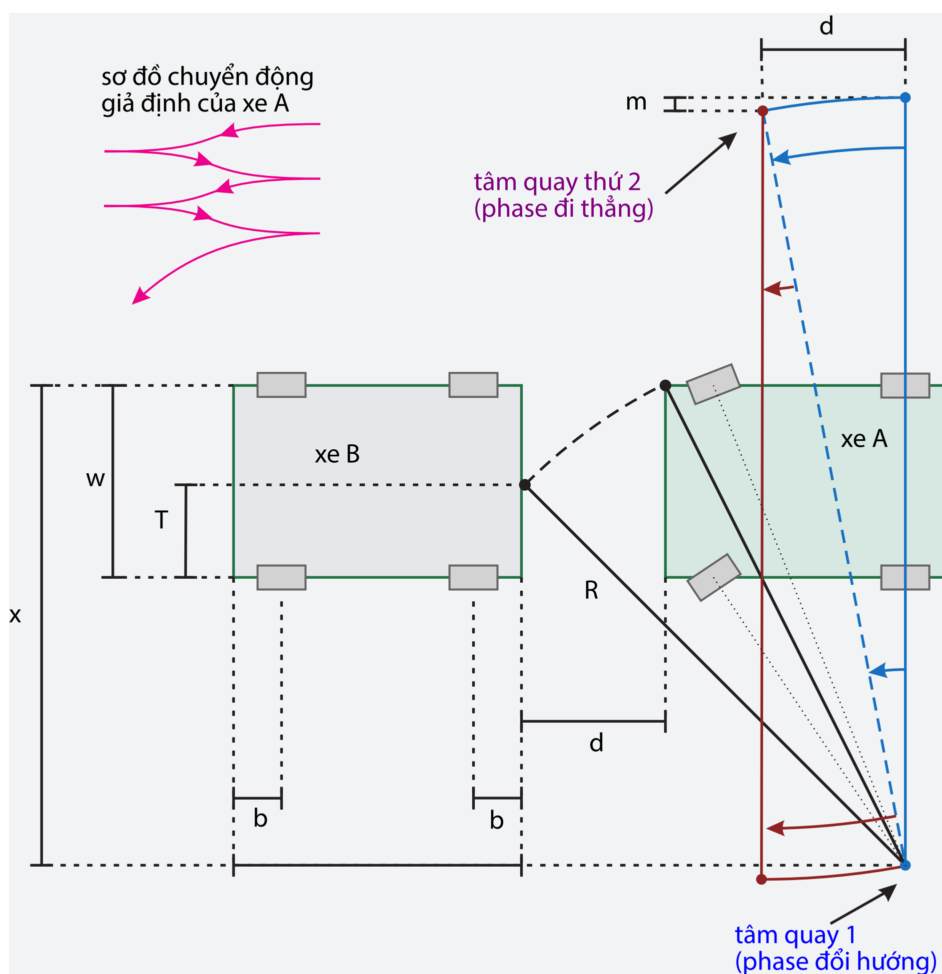
được suy ra từ Hình 310. Cũng nên xem quyển R. Hoyle, *Requirements for a perfect s-shaped parallel parking maneuvre in a simple mathematical model*, 2003. Đúng ra toán học về việc đậu xe song song khá hoa mỹ và thú vị. Hãy xem trang web rigtriv.wordpress.com/2007/10/01/parallel-parking/ hay phần giải thích trong Edward Nelson, *Tensor Analysis*, Princeton University Press, 1967, pp. 33–36. Nelson giải thích cách xác định trường vector làm thay đổi cấu hình 4 chiều của xe và cách sử dụng đại số để chứng minh rằng một cái xe có thể rời nơi đậu với một khoảng hở bất kỳ với xe trước và xe sau.

Câu đố 100, trang 67: Không có khoảng cách nhỏ nhất: nó có giá trị bất kỳ! Bạn có thể chứng minh điều này không?

Câu đố 101, trang 67: Lời giải sau đây của Daniel Hawkins.

Giả sử bạn ngồi trong xe A, đậu sau xe B, như trong Hình 311. Có 2 phương pháp cơ bản để ra khỏi chỗ đậu cần cài số lùi: quay xe để chuyển tâm quay ra khỏi (bên phải) của xe B và dịch chuyển xe về phía dưới để chuyển tâm quay ra xa (về phía dưới) xe B. Phương pháp đầu cần xe A là một phần của đường chéo, có nghĩa là phương pháp này không dùng được nếu d nhỏ hơn một giá trị nào đó, chủ yếu là giá trị đã cho ở trên, khi không cần cài số lùi. Ta sẽ tập trung vào phương pháp 2 (trong hình), sử dụng được trong trường hợp d vô cùng nhỏ.

Trong trường hợp d nhỏ hơn khoảng cách cần thiết nhỏ nhất để lái ra khỏi chỗ đậu mà không cần cài số lùi đối với các tham số hình học L, w, b, R, việc cố lái xe ra khỏi chỗ đậu sẽ làm cho



HÌNH 311 Giải bài toán đậu xe (© Daniel Hawkins).

góc của xe A chạm vào xe B ở điểm cách xe B một khoảng T như trong Hình 311. Khoảng T này là độ dời xuống dưới mà xe A phải thực hiện để lái được xe ra ngoài.

Phương pháp này được biểu diễn trên góc trái của Hình 311, cần 2 phase liên tiếp: **phase chuyển hướng** đầu tiên và **phase đi thẳng**. Bằng cách chuyển hướng và đi thẳng, ta sẽ kiếm được một độ dịch chuyển thẳng xuống dưới và một độ dịch ngang về phía trái, trong khi vẫn giữ được hướng ban đầu. Phần cuối là then chốt vì nếu ta cố chuyển hướng cho đến khi góc xe A chạm vào xe B, xe A sẽ bị quay và mọi cố gắng đi thẳng ra ngoài sẽ lại đi theo cùng một cung ngược lại vị trí ban đầu, trong khi chuyển bánh xe theo hướng khác lại làm quay xe nhiều hơn như trong phương pháp đầu đã mô tả.

Mục đích của chúng ta là chuyển hướng xa hết mức và vẫn còn có thể đi thẳng ra ngoài lúc chạm vào xe B. Để phân tích xem có bao nhiêu lần chuyển hướng, trước hết ta phải nhìn vào các tính chất của một xe đang chuyển hướng.

Hệ thống lái Ackermann là một hệ thống giúp cho xe chuyển hướng êm ái, 4 bánh xe phải quay quanh cùng 1 điểm. Rudolph Ackermann đã được cấp bằng sáng chế năm 1817. Một số tính chất của hệ thống Ackermann có liên hệ với bài toán sau:

- Các bánh xe sau vẫn còn thẳng hàng nhưng các bánh xe trước (mà ta đang kiểm soát), phải đổi hướng khác nhau để quay quanh cùng một tâm.
- Tâm quay của việc chuyển hướng sang trái và sang phải ở hai bên của xe.
- Vì sự chuyển hướng sang trái và sang phải có độ lớn giống nhau, tâm quay cách đều cạnh gần nhất của xe. Hình 311 sẽ làm cho vấn đề này sáng tỏ hơn.
- Mọi tâm quay khả hữu đều nằm trên một đường thẳng, luôn luôn đi qua bánh xe sau.
- Khi bánh sau 'đi thẳng' (có nghĩa là cùng hướng với vị trí ban đầu), chúng sẽ thẳng hàng theo chiều dọc với tâm quay.
- Khi xe quay quanh 1 tâm, thí dụ như tâm liên kết với phép quay trái lớn nhất thì tâm liên kết với phép quay phải lớn nhất sẽ quay theo xe. Tương tự như vậy, khi xe quay phải thì tâm quay trái sẽ quay.

Bây giờ, khi ta đã biết tính chất của hệ thống lái Ackermann, ta có thể nói rằng để dịch chuyển tối đa về phía dưới trong khi vẫn giữ nguyên hướng, ta phải quay trái quanh tâm thứ 1 sao cho tâm thứ 2 quay *ngang* một khoảng d, như ta thấy trong Hình 311. Đến đây ta thắng lại và bẻ lái theo hướng ngược lại để quay phải quanh tâm 2. Vì ta dịch chuyển sang bên trái một khoảng d, ta sẽ đi thẳng ra ngoài đúng lúc xe A tiếp xúc với xe B. Việc này đưa tới kết quả là xe dịch chuyển xuống một khoảng m và dịch sang trái một khoảng d trong khi vẫn giữ nguyên hướng của xe A. Quá trình tương tự có thể thực hiện ngược lại để đạt được một dịch chuyển m và d khác, mà kết quả là xe dịch chuyển từ vị trí ban đầu (trước khi chuyển động) xuống một khoảng $2m$ mà không đổi hướng. Quá trình này có thể thực hiện vô số lần và đó là lý do ta có thể lái xe ra khỏi chỗ đậu với khoảng hở rất nhỏ d giữa xe A và xe B. Để xác định số lần thực hiện thủ tục này (quay và đi thẳng), ta phải chia T (là khoảng mà xe A phải dịch xuống để thoát ra ngoài) cho $2m$, độ dịch chuyển cho một lần thực hiện thủ tục. Về mặt toán học thì

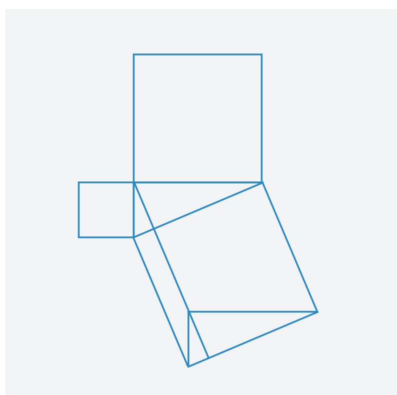
$$n = \frac{T}{2m} . \tag{132}$$

Để kiếm được một biểu thức của n theo các tham số hình học của xe, ta phải tìm T và $2m$. Để đơn giản hoá lý luận ta định nghĩa một chiều dài mới x, cũng có mặt trong Hình 311.

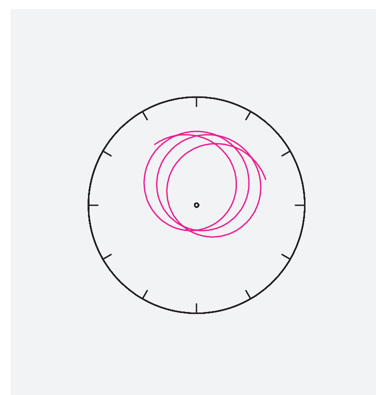
$$x = \sqrt{R^2 - (L-b)^2}$$

$$\begin{aligned} T &= \sqrt{R^2 - (L-b+d)^2} - x + w \\ &= \sqrt{R^2 - (L-b+d)^2} - \sqrt{R^2 - (L-b)^2} + w \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= 2x - w - \sqrt{(2x-w)^2 - d^2} \\ &= 2\sqrt{R^2 - (L-b)^2} - w - \sqrt{(2\sqrt{R^2 - (L-b)^2} - w)^2 - d^2} \\ &= 2\sqrt{R^2 - (L-b)^2} - w - \sqrt{4(R^2 - (L-b)^2) - 4w\sqrt{R^2 - (L-b)^2} + w^2 - d^2} \\ &= 2\sqrt{R^2 - (L-b)^2} - w - \sqrt{4R^2 - 4(L-b)^2 - 4w\sqrt{R^2 - (L-b)^2} + w^2 - d^2} \end{aligned}$$



HÌNH 312 Một hình vẽ đơn giản cho ta thấy một trong nhiều cách chứng minh định lý Pythagoras.



HÌNH 313 Quỹ đạo của trung điểm của đoạn nối 2 đầu kim đồng hồ.

Và ta kiếm được

$$n = \frac{T}{2m} = \frac{\sqrt{R^2-(L-b+d)^2} - \sqrt{R^2-(L-b)^2} + w}{4\sqrt{R^2-(L-b)^2} - 2w - 2\sqrt{4R^2-4(L-b)^2-4w\sqrt{R^2-(L-b)^2}+w^2-d^2}} \, .$$

Giá trị n phải luôn luôn được làm tròn *tới* số nguyên kế tiếp để xác định số lần mà ta phải di chuyển tới lui để ra khỏi chỗ đậu xe.

Câu đố 102, trang 67: Không, không phải là chứng minh hay phản chứng minh.

Câu đố 103, trang 68: Xem quyển II, Trang 22. Về cửa trập cực nhanh hãy xem quyển VI, Trang 120.

Câu đố 104, trang 68: Một lời giải được cho trong Hình 312.

Câu đố 105, trang 68: Vì chúng là hoặc đã là chất lỏng.

Câu đố 106, trang 68: Hình dạng quỹ đạo được biểu diễn trong Hình 313; nó có 11 búp.

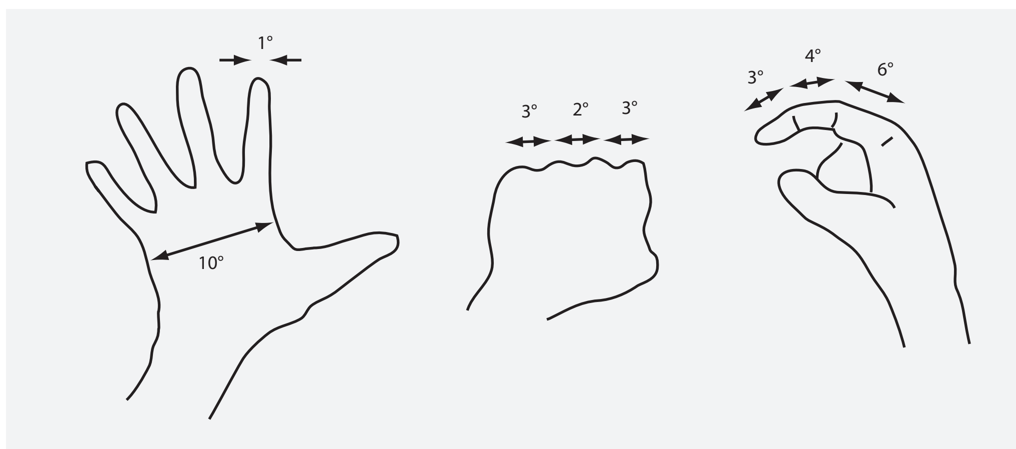
Câu đố 107, trang 69: Góc của hình nón φ, góc giữa trục hình nón và đường biên (hay 1/2 góc đỉnh của hình nón) liên hệ với góc khối Ω theo hệ thức $\Omega = 2\pi(1-\cos\varphi)$. Hãy sử dụng diện tích của một chỏm cầu để chứng minh kết quả này.

Câu đố 109, trang 69: Xem Hình 314.

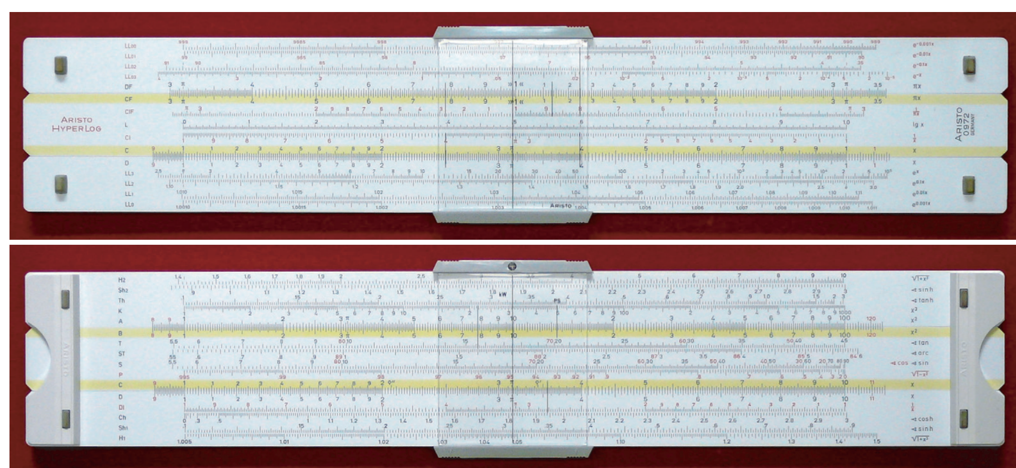
Câu đố 113, trang 70: Gợi ý: vẽ tất cả các vật có liên quan.

Câu đố 114, trang 70: Đường cong dĩ nhiên có tên là *đường dây xích*, từ tiếng Latin 'catena' có nghĩa là dây xích. Công thức của đường này là $y = a\cosh(x/a)$. Nếu bạn xem một đoạn dây ngắn gần bằng một đoạn thẳng, bạn có thể dùng các khối gỗ tạo thành một vòng cung mà không cần keo. Cửa vòm nhà thờ St. Louis có dạng đường dây xích. Cầu treo có dạng dây xích trước khi nó mang tải, tức là trước khi sàn cầu được gắn vào nó. Khi hoàn thành, nó có hình dạng giữa đường dây xích và parabol.

Câu đố 115, trang 71: Nghịch đảo của bán kính, hay độ cong, tuân theo hệ thức $a^2+b^2+c^2+d^2 = (1/2)(a+b+c+d)^2$. Công thức này do René Descartes khám phá. Nếu ta đặt liên tiếp các vòng tròn bên trong phần không gian còn lại, ta sẽ kiếm được các gói vòng tròn, một lĩnh vực hoa mỹ trong toán học giải trí. Chúng có nhiều tính chất kỳ lạ như các hệ thức thú vị giữa toạ độ các tâm vòng tròn và độ cong của chúng.



HÌNH 314 Các góc xác định bằng bàn tay trên nền trời khi đưa thẳng cánh tay.



HÌNH 315 Một thước logarithm cao cấp, khoảng năm 1970 (© Jörn Lütjens).

Câu đố 116, trang 71: Một cách giải: sử dụng sự tương tự trong không gian 3 chiều của định lý Pythagoras. Đáp số là 9.

Câu đố 117, trang 72: Có 2 lời giải. (Tại sao?) Chúng là 2 nghiệm dương của phương trình $l^2 = (b+x)^2 + (b+b^2/x)^2$; chiều cao sẽ là $h = b + x$. Hai đáp số là 4.84 m và 1.26 m. Có công thức riêng cho các lời giải; Bạn có thể tìm ra chúng không?

Câu đố 118, trang 72: Cách hay nhất là tính chiều cao B nơi thang xanh chạm tường. Nó là nghiệm của phương trình $B^4 - 2hB^3 - (r^2 - b^2)B^2 + 2h(r^2 - b^2)B - h^2(r^2 - b^2) = 0$. Đáp số có giá trị nguyên được bàn luận trong Martin Gardner, *Mathematical Circus*, Spectrum, 1996.

Câu đố 119, trang 72: Vẽ một thang logarithm tức là đặt các con số tại các khoảng cách tương ứng với logarithm tự nhiên của nó. Thiết bị như vậy được gọi là *thước logarithm*, như trong Hình 315. Thước này là tiền thân của máy tính bỏ túi; chúng được sử dụng trên khắp thế giới cho tới năm 1970. Hãy thăm web page www.oughtred.org.

Câu đố 120, trang 72: Thêm 2 ngày nữa. Hãy chế tạo một mô hình Mặt trời và Trái đất để kiểm chứng điều này. Đúng ra có một bổ chính nhỏ vào trị số 2 với cùng một lý do làm cho ngày mặt

trời ngắn hơn 24 giờ.

Câu đố 121, trang 72: Mặt trời ở sau lưng quan sát viên; nó đang lặn và các tia sáng đến từ phía sau, đi sâu vào bầu trời đối diện với Mặt trời.

Câu đố 123, trang 73: Thể tích bằng $V = \int A\mathrm{d}x = \int_{-1}^{1} 4(1-x^2)\mathrm{d}x = 16/3$.

Câu đố 124, trang 73: Đúng. Hãy thử bằng một mô hình giấy.

Câu đố 125, trang 73: Vấn đề xuất hiện khi hiệu ứng lượng tử được thêm vào. Một vũ trụ 2 chiều sẽ không có vật chất vì vật chất được tạo thành từ các hạt có spin 1/2. Nhưng trong không gian 2 chiều không có hạt có spin 1/2. Bạn có thể tìm được thêm một lý do nào không?

Câu đố 126, trang 74: Thời gian 2 chiều không cho phép ta sắp thứ tự các biến cố và các quan sát. Ta không thể nói 'trước' và 'sau đó'. Trong đời sống hằng ngày và mọi lĩnh vực có thể đo được, thời gian chỉ có 1 chiều.

Câu đố 127, trang 74: Không có một manh mối nào được phát hiện bằng thí nghiệm. Tuy vậy, điều này có thể có hay không? Có lẽ không như đã bàn luận ở quyển cuối của bộ sách này.

Câu đố 130, trang 74: Lời giải tốt nhất có lẽ là 23 liên kết phụ. Bạn có thể suy ra điều này không? Để tránh làm mất niềm vui khám phá ta sẽ không cho lời giải ở đây. Bạn có thể tìm lời giải trên blog.vixra.org/2010/12/26/a-christmas-puzzle.

Câu đố 131, trang 75: Nếu bạn giải được bài này, bạn sẽ trở thành một toán gia nổi tiếng. Người ta chỉ biết chiều dài này với độ chính xác khoảng 6 số thập phân. Không ai biết công thức chính xác và hình dạng chính xác của một gút lý tưởng như vậy, đối với mọi gút không tầm thường. Bài toán cũng không có lời giải đối với mọi gút lý tưởng không tầm thường *đóng* (tức hai đầu dán với nhau).

Câu đố 132, trang 77: Từ công thức $x = gt^2/2$ bạn kiếm được quy luật sau đây: bình phương số giây, nhân với 5 sẽ bằng chiều sâu tính bằng mét.

Câu đố 133, trang 77: Chỉ cần làm thí nghiệm.

Câu đố 134, trang 78: Các viện sĩ hàn lâm treo một viên đạn đại bác bằng một sợi dây mảnh trước miệng súng. Khi súng bắn, viên đạn bay sẽ cắt qua sợi dây nên cả hai viên đạn sẽ khởi hành cùng lúc. Một quan sát viên từ xa sẽ cố gắng xác định xem cả hai có chạm đất cùng lúc hay không. Thí nghiệm này không dễ vì các sai số về góc và sức cản không khí sẽ làm xáo trộn kết quả.

Câu đố 135, trang 78: Parabol có một tiêu điểm. Mọi ánh sáng xuất phát từ điểm đó và bị phản xạ đều có cùng hướng: tất cả các tia sáng song song với nhau. Tên gọi 'tiêu điểm' – tiếng Latin có nghĩa là lò sưởi – cho thấy đó là điểm nóng nhất khi gương được chiếu sáng. Tiêu điểm của parabol $y = x^2$ ở đâu? (Ellipse có 2 tiêu điểm, có định nghĩa hơi khác. Bạn có thể tìm được định nghĩa đó không?)

Câu đố 136, trang 79: Kỷ lục nhảy xa chắc chắn sẽ tăng nhờ loại bỏ dải cát và việc đo khoảng cách nhảy được thực hiện bằng máy chụp ảnh; điều này cho phép người nhảy chạy gần với tốc độ tối đa của họ hơn. Kỷ lục cũng có thể tăng nhờ bước nhảy nghiêng ít hay nhờ một ván dậm nhảy có lò xo để tăng góc bật nhảy.

Câu đố 137, trang 79: Có lẽ đó là kỷ lục của Roald Bradstock, ném một trái banh golf xa trên 155 m. Kỷ lục ném mobile phone, lao, người và máy giặt thì nhỏ hơn.

Câu đố 138, trang 79: Đi bộ hay chạy trong mưa, đo tốc độ riêng của bạn v và góc α giữa phương thẳng đứng và phương giọt mưa rơi. Tốc độ mưa rơi là $v_{\mathrm{rain}} = v/\tan\alpha$.

Câu đố 139, trang 79: Trong môn khiêu vũ trên băng hiện nay, quay 4 vòng mang tính chất biểu diễn nghệ thuật. Trong khiêu vũ thông thường không có cuộc chạy đua với những kỷ lục như vậy.

Câu đố 140, trang 80: Bỏ qua sức cản không khí và xem góc gần bằng 45°, ta kiếm được $v = \sqrt{dg}$, hay khoảng 3.8 m/s. Tốc độ này được tạo ra nhờ một áp suất có sẵn, đều đặn, bắt nguồn từ huyết áp, được giải phóng một cách đột ngột thông qua một cơ hệ ở cuối ống tiêu hoá. Phần tham khảo được trích dẫn sẽ cho ta thêm nhiều thông tin.

Câu đố 141, trang 80: Trên mặt đất nằm ngang với tốc độ v và góc đối với phương ngang là α, bỏ qua sức cản không khí và chiều cao người ném, khoảng cách d là $d = v^2 \sin 2\alpha/g$.

Câu đố 142, trang 80: Điều đáng ngạc nhiên là câu trả lời không rõ ràng. Năm 2012, kỷ lục của người là 11 banh. Đối với robot, kỷ lục hiện nay là 3 banh của Sarcoman robot. Internet đầy những tư liệu và video về chủ đề này. Đạt tới số banh tối đa là một thử thách thực sự đối với người và robot.

Câu đố 143, trang 80: Người ta nói như vậy vì lúc đó giọt mưa sẽ là những hình cầu nước đá và rơi với tốc độ cao.

Câu đố 144, trang 80: Đúng! Có người đã vào bệnh viện và tử thương vì một viên đạn rơi xuyên qua đầu. Hãy xem S. Mirsky, *It is high, it is far*, Scientific American p. 86, February 2004, hay C. Tuijn, *Vallende kogels*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **71**, pp. 224–225, 2005. Bắn vào không khí là một tội ác.

Câu đố 145, trang 80: Đây là một câu chuyện có thật. Ta chỉ có câu trả lời nếu biết được là người đó có nhảy trong khi chạy hay không. Trong trường hợp này, qua mô tả của R. Cross, *Forensic physics 101: rơi từ trên cao*, American Journal of Physics **76**, pp. 833–837, 2008, không có đường để chạy nên đây là một vụ sát nhân.

Câu đố 146, trang 80: Để nhảy thì động vật có khối lượng m cần năng lượng E với $E = mgh$ và công do bắp thịt sinh ra tỷ lệ với khối lượng của nó $W \sim m$. Như vậy độ cao h phụ thuộc vào khối lượng của động vật. Nói cách khác, cơ năng riêng của vật sẽ gần bằng 1.5 ± 0.7 J/kg.

Câu đố 147, trang 81: Các hòn đá *không bao giờ* đi theo đường parabol: khi nghiên cứu chi tiết, tức là khi ta tính đến độ biến thiên của g theo độ cao, quỹ đạo của chúng sẽ là ellipse. Hình dạng quỹ đạo sẽ rõ nhất khi ném xa, ngang qua một vùng có kích thước đáng kể của Trái đất, hay các vật đi quanh Trái đất. Tóm lại, các hòn đá sẽ đi theo đường parabol chỉ khi Trái đất phẳng. Nếu ta tính đến độ cong của Trái đất, chúng sẽ đi theo đường ellipse.

Câu đố 148, trang 81: Tập hợp mọi phép quay quanh 1 điểm trong một mặt phẳng thực sự là một không gian vector. Còn tập hợp tất cả các phép quay quanh *mọi* điểm trong một mặt phẳng thì sao? Và trong trường hợp 3 chiều?

Câu đố 151, trang 82: Tích vô hướng của 2 vector $\boldsymbol{a}$ và $\boldsymbol{b}$ là

$$\boldsymbol{ab} = ab \cos \sphericalangle(\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}) . \tag{133}$$

Tích này khác với tích vector như thế nào?

Câu đố 154, trang 85: Giá trị gia tốc thực tế nhỏ nhất của một hệ vật lý là gia tốc của sóng hấp dẫn mà các máy dò đo được. Chúng nhỏ hơn 10^{-13} m/s^2. Nhưng giá trị này bị gia tốc của chuyển động trôi dạt của lục địa, sau khi tách ra, đánh bại: từ 7 mm/a tới 40 mm/a trong thời gian 'chỉ có' 3 triệu năm. Số này tương đương với 10^{-23} m/s^2. Có một giới hạn lý thuyết nhỏ nhất cho gia tốc hay không?

Câu đố 155, trang 86: Trong khi rơi tự do (khi không có không khí) hay ở trong một trạm không gian đi quanh Trái đất, bạn bị gia tốc nhưng không cảm thấy điều gì. Tuy vậy, vấn đề không đơn giản như vậy. Mặt khác, thật ra ta không thể cảm thấy gia tốc không đổi và thuần nhất nếu không có hệ quy chiếu không có gia tốc. Tính không thể phân biệt này hay sự tương đương giữa gia tốc và 'không cảm thấy gì' là bước chủ yếu đối với Albert Einstein trong việc phát triển Thuyết tương đối tổng quát. Mặt khác, nếu giác quan của chúng ta đủ nhạy, ta sẽ cảm thấy một điều gì

đó: cả trong trường hợp rơi tự do và trong trạm không gian, khi gia tốc không còn là hằng số cũng như không còn thuần nhất. Như vậy thực ra ta có thể nói rằng 'ta luôn có thể cảm nhận được gia tốc trong thiên nhiên' .

Câu đố 156, trang 86: Thầy hỏi trò: Đạo hàm của vận tốc là gì? Gia tốc! Đạo hàm của gia tốc là gì? Dạ không rõ. *Jerk*! Đạo hàm bậc 4, 5, 6 của vị trí đôi khi được gọi là *snap*, *crackle* và *pop*.

Câu đố 158, trang 89: Ta có thể lập luận rằng một nguồn sáng bất kỳ phải có kích thước hữu hạn.

Câu đố 160, trang 89: Vật mà mắt trần nhận thức được như một chấm đen nhỏ thường có đường kính khoảng 50 µm.

Câu đố 161, trang 89: Xem quyển III, Trang 170.

Câu đố 162, trang 90: Ta phải kiểm tra cẩn thận xem các bước nhận thức hướng dẫn ta rút ra khái niệm điểm từ sự quan sát có đúng hay không. Ta sẽ chứng minh trong phần cuối của cuộc phiêu lưu là điều này không đúng.

Câu đố 163, trang 90: Người ta có cách để quay bàn tay mà cánh tay vẫn thực hiện được chuyển động đã mô tả. Hãy xem quyển IV, Trang 133.

Câu đố 164, trang 90: Số sợi cáp không có giới hạn. Một sự minh hoạ chuyển động quay có ràng buộc với 96 chỗ nối có trong quyển VI, Trang 182.

Câu đố 165, trang 90: Hệ tuần hoàn và hệ thần kinh sẽ không hoạt động được nếu bánh xe có một trục bánh xe. Phương pháp đã trình bày tránh được sự rối của chỗ nối chỉ áp dụng được khi phần quay *không có* trục bánh xe: 'bánh xe' phải lơ lửng hay được giữ tại chỗ bằng các phương tiện khác. Như vậy ta không thể chế tạo một *trục bánh xe* bằng cách chỉ sử dụng 1 miếng da. Và nếu ta có thể chế tạo một bánh xe không có trục bánh xe (điều không thể xảy ra), thì bánh xe đó sẽ chạy lên trên chỗ nối một cách tuần hoàn. Một chỗ nối không có trục bánh xe như vậy có thể tạo một chân vịt hay không?

Ngoài ra, người ta vẫn có thể tưởng tượng ra một động vật có bánh xe và trục bánh xe nếu bánh xe đó là một vật 'chết'. Cho dù ta có sử dụng kỹ thuật cung cấp máu dưới dạng các lò phản ứng có dòng chảy liên tục, động vật cũng không thể làm cho một bánh xe tách rời, sinh trưởng theo một cách phù hợp với phần còn lại của cơ thể và chúng sẽ gặp khó khăn trong việc sửa chữa một bánh xe bị hư hại. Các bánh xe tách rời không thể tăng trưởng trong cơ thể động vật; chúng phải chết.

Câu đố 166, trang 93: Não trong xương sọ, xưởng sản xuất máu nằm trong xương hay sự tăng trưởng của mắt là các thí dụ như vậy.

Câu đố 167, trang 93: Năm 2007, bánh xe lớn nhất của xe khách có đường kính khoảng 150 m. Cánh turbin gió lớn nhất có đường kính khoảng 125 m. Lò nung xi măng là các bánh xe dài nhất: chúng có thể có trục dài trên 300 m.

Câu đố 168, trang 93: Sức cản không khí làm giảm khoảng cách cực đại của quả banh – được phát đi dưới góc khoảng $\pi/4 = 45°$ – là $v^2/g = 91.7$ m xuống còn 50 m.

Câu đố 173, trang 99: Ta có thể thêm Mặt trời, bầu trời và phong cảnh vào danh sách này.

Câu đố 174, trang 100: Không có tuỳ chọn thứ 3. Ma quái, ảo giác, sự nhìn thấy Elvis hay sinh vật ngoài hành tinh đều là vật hoặc hình ảnh. Bóng cũng chỉ là các loại hình ảnh đặc biệt.

Câu đố 175, trang 100: Vấn đề này đã được tranh luận sôi nổi trong thế kỷ 17; ngay cả Galilei cũng cho chúng là hình ảnh. Tuy vậy, chúng là vật thể vì chúng có thể va chạm với các vật khác, như cuộc va chạm ngoạn mục giữa Mộc tinh và sao chổi Shoemaker-Levy 9 vào năm 1994 đã chứng tỏ. Trong thời gian đó, các vệ tinh đã được chế tạo để va chạm với các sao chổi, để nhắm vào chúng (và đụng vào).

HÌNH 316 Hành trạng đo được (vạch đen) và theo tính toán (các đường có màu) – nói chính xác hơn, các trị riêng động lực – của một xe đạp là một hàm số theo tốc độ của nó (© Arend Schwab).

Câu đố 176, trang 101: Tốc độ tối thiểu là tốc độ mà người ta có thể đi mà không cần giữ tay lái. Nếu bạn làm như vậy rồi đẩy *nhẹ* vào tay lái, bạn sẽ trải nghiệm điều mô tả ở trên đây. Coi chừng: đẩy quá mạnh sẽ làm bạn té đau.

Xe đạp là một trong những cơ hệ phức tạp nhất của đời sống thông thường và nó vẫn còn là đề tài nghiên cứu. Và dĩ nhiên các chuyên gia thế giới là người Hoà Lan. Một tổng quan về hành trạng của xe đạp được cho trong Hình 316. Kết quả chính là xe đạp ổn định ở vị trí đứng thẳng trong khoảng tốc độ trung bình. Chỉ trong khoảng tốc độ thấp và lớn thì người đi xe phải chủ động lái để bảo đảm cho xe đứng thẳng.

Để có thêm chi tiết, bạn hãy xem bài báo J. P. Meijaard, J. M. Papadopoulos, A. Ruina & A. L. Schwab, *Linearized dynamics equations for the balance and steer of a bicycle: a benchmark and review*, Proceedings of the Royal Society A **463**, pp. 1955–1982, 2007, và J. D. G. Kooijman, A. L. Schwab & J. P. Meijaard, *Experimental validation of a model of an uncontrolled bicycle*, Multibody System Dynamics **19**, pp. 115–132, 2008. Cũng nên tham khảo website audiophile.tam.cornell.edu/~als93/Bicycle/index.htm.

Câu đố 177, trang 103: Trọng lượng toàn phần giảm đi một cách chậm chạp do nước bốc hơi qua mồ hôi và một phần nhỏ do carbon toả ra liên kết với carbon dioxide.

Câu đố 178, trang 103: Đây là một câu đố mà bạn có thể nhờ Internet trợ giúp. Để có một khái niệm tổng quát, hãy xem quyển sách của Lee Siegel, *Net of Magic – Wonders and Deception in India*, University of Chicago Press, 1991.

Câu đố 179, trang 104: Nếu banh không quay sau khi va chạm 2 trái banh sẽ tách ra đi theo 2 phương *vuông góc* với nhau.

Câu đố 180, trang 104: Vì tấm bê tông nặng, nó sẽ thu được tốc độ nhỏ và thân người làm cho nó ngừng lại dễ dàng. Hiệu ứng này cũng có tác dụng khi ta thay bê tông bằng một cái đe. Có một kiểu trình diễn khác là người nằm trên không khí: anh ta chỉ nằm ngang giữ đầu và chân trên một cái ghế.

Câu đố 181, trang 106: Có, định nghĩa vẫn áp dụng được cho từ lực vì điều kiện chính xác không phải là sự tương tác có tính xuyên tâm mà là sự tương tác thể hiện một điều kiện tổng quát hơn, bao gồm các gia tốc do từ lực tạo ra. Bạn có thể suy ra điều kiện này từ định nghĩa, khối lượng là đại lượng giữ cho động lượng bảo toàn, hay không?

Câu đố 182, trang 106: Ta có thể tìm khối lượng Trái đất bằng hiệu ứng hấp dẫn thì sẽ dễ hơn
Trang 186 là sử dụng hiệu ứng quán tính.

Câu đố 187, trang 108: Mới nhìn qua thì ta thấy Thuyết tương đối hàm ý các tachyon có khối lượng ảo; tuy vậy ta có thể lấy thừa số ảo từ hệ thức khối-năng lượng và khối-động lượng ra ngoài, nên ta có thể xác định giá trị khối lượng thực của tachyon. Kết quả là tachyon càng nhanh thì khối lượng và động lượng càng nhỏ. Đúng ra cả động lượng và năng lượng của tachyon đều có thể có giá trị âm bất kỳ.

Câu đố 188, trang 110: Trường hợp bên trái có tác dụng rất ít, trường hợp thứ 2 làm cho xe chạy về phía trước rồi phía sau, hai hình bên phải cho ta thấy cách mở chai rượu mà không cần cái mở nút chai.

Câu đố 189, trang 110: Chân không đứng thẳng hoàn toàn; chúng sẽ bị trượt ngay. Khi mèo hay người ở trên một sàn như vậy thì gần như không thể đứng lên nữa.

Câu đố 190, trang 110: Sự bảo toàn động lượng (hay khối tâm) hàm ý rằng môi trường sẽ bị gia tốc theo hướng ngược lại. Sự bảo toàn năng lượng khiến cho một lượng lớn năng lượng truyền đi giữa 2 nơi và làm tan chảy mọi vật ở giữa. Như vậy viễn tải mâu thuẫn với định luật bảo toàn động lượng và năng lượng.

Câu đố 191, trang 111: Thuỷ triều do Mặt trời, gió mặt trời và các tương tác giữa 2 từ trường là các thí dụ về cơ chế ma sát giữa Trái đất và Mặt trời.

Câu đố 192, trang 112: Với hệ số 1/2, độ tăng động năng (vật lý) bằng với công (vật lý) thực hiện trên một hệ: như vậy năng lượng toàn phần chỉ bảo toàn khi 1/2 được thêm vào.

Câu đố 194, trang 113: Đó là một ứng dụng thông minh của sự bảo toàn động lượng.

Câu đố 195, trang 113: Như nhau. Khi có thắng thì thiệt hại lớn hơn nhưng thiệt hại của 2 xe vẫn như nhau.

Câu đố 196, trang 114: Hệ thống sưởi, máy vận chuyển, máy móc trong các công xưởng, nhà máy luyện thép, máy phát điện bù đắp cho các tổn hao trên lưới điện, v.v... Ngoài ra, các quốc gia giàu có nhất trên thế giới như Thuỵ Điển hay Thuỵ Sĩ, thì cư dân của các nước đó chỉ tiêu thụ năng lượng bằng 1/2 cư dân Mỹ. Sự phung phí này là một trong các nguyên do tiêu chuẩn trung bình của đời sống ở Mỹ thấp hơn.

Câu đố 202, trang 119: Chỉ cần ném viên gạch vào không khí và so sánh sự khéo léo cần thiết để làm cho nó quay quanh các trục khác nhau.

Câu đố 203, trang 119: Dùng định nghĩa moment quán tính và định lý Pythagoras cho mỗi nguyên tố khối lượng của vật.

Câu đố 204, trang 120: Treo vật lên, cột dây vào 2 điểm khác nhau. Giao điểm của phương các sợi dây treo là khối tâm.

Câu đố 205, trang 121: Xem bảng 19 và 20.

Câu đố 206, trang 121: Hình cầu có thể có hướng vì ta luôn luôn có thể thêm một điểm nhỏ trên mặt cầu. Vật vi mô không có khả năng này và ta sẽ nghiên cứu trường hợp này trong phần Thuyết lượng tử.

Câu đố 209, trang 121: Được, con khỉ có thể lấy được trái chuối. Con khỉ chỉ cần quay quanh trục của nó. Trong mỗi vòng quay, sàn sẽ quay một chút về phía trái chuối. Dĩ nhiên các cách khác như thổi vuông góc với trục quay, đi tiểu, v.v... đều dùng được.

Câu đố 210, trang 122: Chuyển động thẳng tự hành mâu thuẫn với sự bảo toàn động lượng; sự đổi hướng tự hành (miễn là chuyển động sau đó ngừng lại) không mâu thuẫn với định luật bảo toàn nào. Nhưng lý do sâu sắc, nền tảng cho sự khác nhau này sẽ được tiết lộ trong phần cuối của cuộc thám hiểm này.

Câu đố 212, trang 123: Những điểm chuyển động dọc theo bán kính của bánh xe tạo thành một vòng tròn bên dưới trục quay và trên vành bánh xe. Chúng là những điểm sắc nét trong Hình 79 ở Trang 122.

Câu đố 213, trang 123: Sử dụng định luật bảo toàn moment động lượng quanh điểm tiếp xúc. Nếu ta giả sử khối lượng tập trung trên vành bánh xe, tốc độ quay sau cùng bằng 1/2 tốc độ ban đầu; nó độc lập với hệ số ma sát.

Câu đố 215, trang 124: Có lẽ nhà văn muốn nói đến 'phần còn lại của vũ trụ'. Thật vậy, việc di chuyển một phần sẽ không làm dịch chuyển khối tâm của một hệ kín. Nhưng vũ trụ có kín không? Hay chỉ là một hệ thống thông thường? Phần cuối của cuộc thám hiểm sẽ giới thiệu vấn đề này.

Câu đố 219, trang 126: Gợi ý: hai sự bảo toàn năng lượng và động lượng chỉ cho ta 2 phương trình; nhưng trong trường hợp 3 trái banh thì có 3 biến. Ta cần thêm cái gì? Hãy xem F. Herrmann & M. Seitz, *How does the ball-chain work?*, American Journal of Physics **50**, pp. 977–981, 1982. Thách thức khó hơn là chế tạo chuỗi banh có độ chính xác cao, các trái banh hoạt động như ta muốn, giảm thiểu các chuyển động không chính xác. Theo Internet, hình như chưa có ai làm được. Bạn có thể làm được không?

Câu đố 220, trang 126: Phương pháp cho phép Phileas Fogg thắng cược lớn trong tiểu thuyết nổi tiếng của Jules Verne, *Around the World in Eighty Days*, translated from *Le tour du monde en quatre-vingts jours*, first published in 1872.

Câu đố 221, trang 126: Khi cơ thể con người tạo ra công suất thấp và trung bình thì hiệu quả về mặt năng lượng hơn. Chủ đề này vẫn còn được nghiên cứu, được trình bày chi tiết trong phần tham khảo. Người ta ước tính được độ dốc tới hạn vào khoảng 16° đối với người leo lên nhưng sẽ khác đi đối với người đi xuống.

Câu đố 223, trang 127: Gợi ý: năng lượng / khoảng cách là lực.

Câu đố 224, trang 127: Sự bảo toàn moment động lượng sẽ giữ cho cái ly không bể. Bạn hãy thử xem.

Câu đố 225, trang 127: Trước tiên, dữ liệu thí nghiệm của MacDougall sai. Trong 6 trường hợp mà MacDougall khảo sát, ông không biết giờ mất chính xác. Khẳng định của ông về sự giảm khối lượng không thể suy ra từ dữ liệu này. Các phép đo hiện đại đối với các con cừu sắp chết, có khối lượng giống như người, đã cho thấy khối lượng không thay đổi nhưng có thay đổi vài gram khi tim ngừng đập. Sự sụt giảm khối lượng nhất thời này có thể do không khí hay hơi nước thoát ra ngoài, do bắp thịt giãn ra hay do sự tuần hoàn máu ngừng lại. Câu hỏi này chưa được giải đáp đầy đủ.

Câu đố 227, trang 127: Giả sử núi vuông, chiều cao h trên lớp vỏ xung quanh và chiều sâu d ở bên dưới, sẽ liên hệ với nhau qua biểu thức

$$\frac{h}{d} = \frac{\rho_m - \rho_c}{\rho_c} \qquad (134)$$

trong đó ρ_c là mật độ của lớp vỏ và ρ_m là mật độ của lớp mantle. Với các giá trị đã cho, tỷ số là 6.7, dẫn tới việc có thêm một độ sâu là 6.7 km bên dưới ngọn núi.

Câu đố 229, trang 128: Lon đầy chất lỏng. Video trên Internet cho ta thấy thí nghiệm này. Tại sao lại như vậy?

Câu đố 232, trang 129: Vật chất trong vũ trụ có thể quay – nhưng vũ trụ thì không. Các thí nghiệm đều chứng tỏ rằng trong phạm vi sai số của phép đo không có chuyển động quay nào.

Câu đố 233, trang 129: Hiện tượng này chỉ có giải thích được bằng cách nhớ lại rằng sóng đàn hồi truyền đi qua chuỗi các quả cầu. Chỉ có sự truyền sóng đàn hồi, đặc biệt do sự phản xạ của sóng ở cuối chuỗi mới giải thích được số quả cầu tách ra giống số quả cầu mà ta nhấc lên lúc đầu. Trong một thời gian dài, ma sát sẽ làm cho các quả cầu dao động cùng phase. Bạn có thể chứng minh điều này không?

Câu đố 234, trang 129: Khi hai hình trụ chạm nhau, 2 sóng nén bắt đầu chạy từ điểm tiếp xúc xuyên qua 2 hình trụ. Khi mỗi sóng nén tới đầu kia, nó phản xạ thành sóng giãn. Nếu dạng hình học được lựa chọn thích hợp, sóng giãn trong hình trụ ngắn tiếp tục đi vào hình trụ dài (vẫn còn cùng phase với sóng nén). Trong thời gian tiếp xúc đủ dài, sóng trong hình trụ ngắn tiếp tục cung cấp năng lượng cho hình trụ dài. Động lượng và năng lượng bảo toàn; hình trụ dài tiếp tục dao động khi đã tách ra nên không phải tất cả năng lượng của nó là năng lượng tĩnh tiến. Dao động này được sử dụng để xoáy đầu đinh hay khoan vào tường đá. Trong khoan búa thương mại, tỷ số chiều dài thường là 1:10.

Câu đố 235, trang 130: Động lượng truyền vào tường lớn gấp đôi khi banh nảy ra hoàn toàn.

Câu đố 236, trang 130: Nếu nút chai còn ở nguyên vị trí: lấy bao nhựa bao quanh nút chai, bao miếng vải quanh cái chai hay đặt chai trong chiếc giày (chỉ để bảo vệ) và đập vào chai đặt trên sàn nhà hay thả nghiêng chai trên mặt sàn như trong Hình 72 ở Trang 110. Mỗi lần đập nút chai sẽ đi ra một chút.

Nếu nút chai ở trong chai: đặt nửa miếng vải trong chai; lắc cho đến khi nút chai rơi lên trên miếng vải. Kéo miếng vải ra ngoài: đầu tiên chậm chậm, cho đến khi miếng vải bao quanh nút chai, rồi kéo mạnh.

Câu đố 237, trang 130: Thật vậy, đầu dưới của thang luôn luôn chạm sàn. Tại sao?

Câu đố 238, trang 131: Kính hiển vi lực nguyên tử.

Câu đố 240, trang 131: Người chạy bộ: $E \approx 0.5 \cdot 80\,\text{kg} \cdot (5\,\text{m/s})^2 = 1\,\text{kJ}$; đạn súng trường: $E \approx 0.5 \cdot 0.04\,\text{kg} \cdot (500\,\text{m/s})^2 = 5\,\text{kJ}$.

Câu đố 241, trang 131: Kích thước của nó tăng lên gấp đôi.

Câu đố 242, trang 131: Ở điểm cao nhất, gia tốc là $g \sin\alpha$, với α là góc của con lắc tại điểm cao nhất. Ở điểm thấp nhất, gia tốc là v^2/l, với l là chiều dài con lắc. Sự bảo toàn năng lượng cho ta $v^2 = 2gl(1 - \cos\alpha)$. Như vậy đề bài đòi hỏi $\sin\alpha = 2(1 - \cos\alpha)$. Kết quả ta được $\cos\alpha = 3/5$.

Câu đố 243, trang 131: Ta có tốc độ biến thiên khối lượng do sương mù là $\mathrm{d}m/\mathrm{d}t = \pi\rho_{\text{vapour}} r^2 |v|$ và độ biến thiên của tốc độ rơi là $m\,\mathrm{d}v/\mathrm{d}t = mg - v\,\mathrm{d}m/\mathrm{d}t$. Hai phương trình này cho ta

$$\frac{\mathrm{d}v^2}{\mathrm{d}r} = \frac{2g}{C} - 6\frac{v^2}{r} \tag{135}$$

trong đó $C = \rho_{\text{vapour}}/4\rho_{\text{water}}$. Phương trình trên có thể viết lại

$$r\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}\frac{v^2}{r} = \frac{2g}{C} - 7\frac{v^2}{r} \,. \tag{136}$$

Khi thời gian lớn, mọi lời giải có ý nghĩa vật lý đều gần bằng $v^2/r = 2g/7C$; có nghĩa là khi thời gian dài,

$$\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\frac{v^2}{r} = \frac{g}{7} \quad \text{và} \quad r = \frac{gC}{14}t^2 \,. \tag{137}$$

Về bài toán nổi tiếng này, hãy tham khảo B. F. Edwards, J. W. Wilder & E. E. Scime, *Dynamics of falling raindrops*, European Journal of Physics **22**, pp. 113–118, 2001, hay A. D. Sokal, *The falling raindrop, revisited*, preprint at arxiv.org/abs/0908.0090.

Câu đố 244, trang 131: Sẽ có một cái nhanh hơn vì moment quán tính khác nhau. Cái nào?

Câu đố 245, trang 131: Không có câu trả lời đơn giản, vì lực cản khí động học có vai trò quan trọng ở đây. Gần như không có ai nghiên cứu về chủ đề này. Ngoài ra cũng có thi tài trong trò chơi nhảy dây; thí dụ có một số người có khả năng quay dây 5 lần dưới chân trong một lần nhảy lên. Bạn có thể làm tốt hơn không?

Câu đố 246, trang 132: Cân viên đạn và bắn nó vào một vật nặng treo trên trần. Từ khối lượng và góc lệch ta tính được động lượng của viên đạn.

Câu đố 248, trang 132: Một cung tròn.

Câu đố 249, trang 132: Công tắc dùng năng lượng nhận được khi ta đẩy vào nó và làm cho một máy phát sóng nhỏ tác động lên một điều khiển từ xa để mở đèn.

Câu đố 250, trang 132: Người ta sử dụng một cách xếp đặt thông minh các tấm lưỡng kim. Chúng chuyển động mỗi lần nhiệt độ thay đổi từ ngày qua đêm – hay ngược lại – và lên dây cho đồng hồ. Đây là một đồng hồ cơ học tiêu thụ ít năng lượng.

Câu đố 251, trang 134: Trọng lượng của máy nâng không đổi chút nào khi tàu đi vào máy. Một máy nâng đôi, tức là một hệ thống 2 máy nâng liên kết cơ / thuỷ lực với nhau, không cần động cơ: chỉ cần thêm vào máy trên một ít nước mỗi lần có tàu đi vào nó. Những máy nâng tàu không động cơ như vậy đã được sử dụng từ lâu trong quá khứ.

Câu đố 254, trang 134: Việc này hơi khó; sự kết hợp của ma sát và moment lực có vai trò quan trọng. Hãy xem bài báo J. Sauer, E. Schörner & C. Lennerz, *Real-time rigid body simulation of some classical mechanical toys*, 10th European Simulation and Symposium and Exhibition (ESS ’98) 1998, pp. 93–98, hay www.lennerz.de/paper_ess98.pdf.

Trang 167 **Câu đố** 257, trang 136: Hãy xem thí dụ như Hình 123. Cực không ở thiên đỉnh.

Câu đố 258, trang 136: Robert Peary đã quên rằng vào ngày hắn nói là đang ở Bắc cực, 6/4/1909, Mặt trời ở rất thấp gần chân trời, cho bóng rất dài, khoảng 10 lần chiều cao của vật. Nhưng trên hình của hắn bóng ngắn hơn nhiều. (Đúng ra hình được chụp trong điều kiện mọi bóng đổ được giấu đi hết sức cẩn thận.) Điều thú vị là hắn thuyết phục được quốc hội Mỹ chính thức công bố hắn là người đầu tiên đến Bắc cực năm 1911. (Một đối thủ lừa đảo khác cũng tuyên bố đã đến đó trước Peary nhưng hình của hắn cũng có lỗi tương tự.) Peary cũng gian dối về đoạn đường đã đi trong những ngày sau cùng; hắn cũng xạo khi kể rằng vào những ngày đó hắn được bạn đồng hành Matthew Henson kéo đi vì kiệt sức. Đúng ra Matthew Henson đáng được tuyên dương hơn Peary. Tuy nhiên Henson không biết rằng Peary đã gian dối về địa điểm đã đến.

Câu đố 260, trang 137: Laplace và Gauss đã chứng minh rằng độ lệch về phía Đông d của một vật rơi tự do được tính theo công thức

$$d = 2/3\Omega \cos\varphi \sqrt{2h^3/g} \,. \tag{138}$$

Ở đây $\Omega = 72.92\,\mu\text{rad/s}$ là vận tốc góc của Trái đất, φ là vĩ độ, g là gia tốc hấp dẫn và h là độ cao mà vật rơi được.

Câu đố 261, trang 140: Hiệu ứng Coriolis có thể xem là tổng của 2 hiệu ứng khác nhau có cùng độ lớn. Hiệu ứng đầu là: trên một bàn quay, vận tốc thay đổi theo thời gian. Điều mà một quan sát viên quán tính (không quay) thấy vận tốc *không đổi* sẽ được quan sát viên quay thấy là một vận tốc *thay đổi* theo thời gian. Gia tốc mà quan sát viên quay nhìn thấy là âm và tỷ lệ với vận tốc góc và vận tốc.

Hiệu ứng thứ 2 là sự thay đổi vận tốc trong không gian. Trong một hệ quy chiếu quay, các điểm khác nhau có vận tốc khác nhau. Hiệu ứng này âm và tỷ lệ với vận tốc góc và vận tốc.

Tổng cộng, gia tốc Coriolis (hay hiệu ứng Coriolis) sẽ là $\boldsymbol{a}_C = -2\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{v}$.

Câu đố 262, trang 141: Một con lắc *ngắn* có chiều dài L dao động trong mặt phẳng (với biên độ ρ theo hướng φ) có thêm 2 số hạng trong Lagrangian $\mathcal{L}$:

$$\mathcal{L} = T - V = \tfrac{1}{2}m\dot{\rho}^2\left(1 + \frac{\rho^2}{L^2}\right) + \frac{l_z^2}{2m\rho^2} - \tfrac{1}{2}m\omega_0^2\rho^2(1 + \frac{\rho^2}{4\,L^2}) \tag{139}$$

như thường lệ, tần số cơ bản là $\omega_0^2 = g/L$ và moment động lượng là $l_z = m\rho^2\dot{\varphi}$. Hai số hạng bổ sung biến mất khi $L \to \infty$; trong trường hợp đó, nếu hệ dao động trong một ellipse với các bán trục a và b, thì ellipse này cố định trong không gian và tần số là ω_0. Đối với con lắc có chiều dài L *hữu hạn*, tần số trở thành

$$\omega = \omega_0\left(1 - \frac{a^2 + b^2}{16\,L^2}\right) . \tag{140}$$

Ellipse này sẽ quay với tần số

$$\Omega = \omega\frac{3}{8}\frac{ab}{L^2} . \tag{141}$$

Các công thức này có thể tìm được bằng cách sử dụng nguyên lý tác dụng cực tiểu, như C. G. Gray, G. Karl & V. A. Novikov, đã trình bày trong *Progress in classical and quantum variational principles*, arxiv.org/abs/physics/0312071. Nói cách khác, một con lắc ngắn trong chuyển động elliptic cho ta thấy có một sự tiến động ngay cả khi *không có* hiệu ứng Coriolis. Vì sự tiến động này tần số giảm đi $1/L^2$, tác dụng này nhỏ đối với con lắc dài, nơi chỉ còn lại hiệu ứng Coriolis. Để thấy hiệu ứng Coriolis ở con lắc ngắn, ta phải tránh cho nó bắt đầu dao động theo quỹ đạo elliptic bằng cách thêm vào một bộ phận loại trừ chuyển động elliptic.

Câu đố 263, trang 142: Gia tốc Coriolis là nguyên do con lắc dao động lệch khỏi đường thẳng. Gia tốc Coriolis bắt nguồn từ sự thay đổi tốc độ theo khoảng cách đến trục quay. Hãy xem một con lắc dao động ở Paris, theo phương Bắc-Nam với biên độ A. Ở điểm phía Nam của dao động con lắc xa trục quay hơn một đoạn $A \sin\varphi$, với φ là vĩ độ. Tại điểm đó, tâm treo vượt qua quả lắc với tốc độ ngang tương đối là $v = 2\pi A \sin\varphi/23\,\text{h}56\,\text{min}$. Chu kỳ tiến động là $T_F = v/2\pi A$, trong đó $2\pi A$ là chu vi của bao hình của quỹ đạo con lắc (đối với Trái đất). Kết quả $T_F = 23\,\text{h}56\,\text{min}/\sin\varphi$. Tại sao giá trị trong công thức không phải là 24 h mà lại là 23 h56 min?

Câu đố 264, trang 144: Thí nghiệm chứng tỏ rằng trục của con quay hồi chuyển cố định đối với các ngôi sao ở xa. Không có thí nghiệm nào chứng tỏ nó cố định đối với không gian tuyệt đối vì loại “không gian tuyệt đối” này không thể xác định hay quan sát được. Nó là một khái niệm vô dụng.

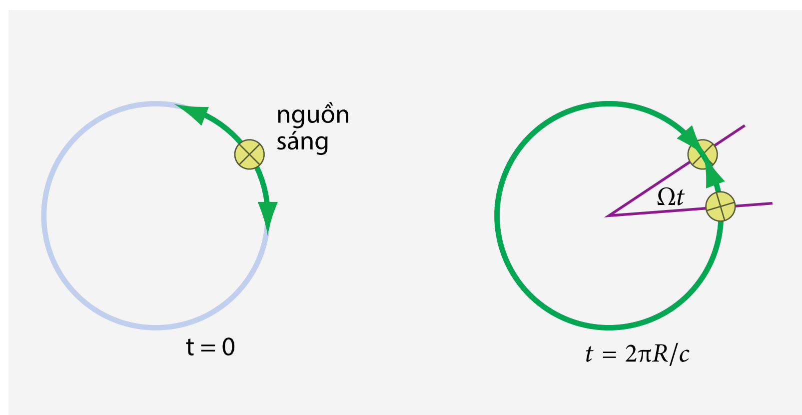
Câu đố 265, trang 144: Chuyển động quay làm cho tần số giảm khiến cho màu của ánh sáng chạy thay đổi.

Câu đố 266, trang 144: Trọng lượng thay đổi khi đi về phía Đông hay Tây bắt nguồn từ gia tốc Coriolis. Nếu tốc độ quay được điều chỉnh theo tần số dao động của cân, hiệu ứng sẽ gia tăng do cộng hưởng. Thủ thuật này cũng được Eötvös sử dụng.

Câu đố 267, trang 144: Gia tốc Coriolis làm cho thanh ngang quay, vì mỗi vật chuyển động lệch qua một bên và trong trường hợp này thì hai độ lệch cộng với nhau. Hướng lệch phụ thuộc vào thí nghiệm được thực hiện ở bắc hay nam bán cầu.

Câu đố 268, trang 145: Khi được quay đi một góc π quanh trục Đông-Tây lực Coriolis tạo ra một vận tốc kéo theo của chất lỏng quanh ống. Giá trị của nó là

$$v = 2\omega r \sin\theta, \tag{142}$$



HÌNH 317 Suy ra biểu thức cho hiệu ứng Sagnac.

nếu ma sát không đáng kể. ω là vận tốc góc của Trái đất, θ là vĩ độ và r là bán kính (lớn) của hình xuyến. Đối với ống có đường kính 1 m ở châu Âu lục địa, tốc độ sẽ vào khoảng $6.3 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Việc đo có thể dễ dàng hơn nếu ống bị hạn chế về đường kính tại một điểm để cho vận tốc ở đó tăng lên. Nếu hạn chế diện tích với tỷ lệ 100 thì tốc độ sẽ tăng lên với tỷ lệ đó. Khi thực hiện thí nghiệm người ta phải cẩn thận để tránh các hiệu ứng khác làm chuyển động nước, như sự thay đổi nhiệt độ trong hệ thống.

Câu đố 269, trang 145: Hãy tưởng tượng đường đi của ánh sáng là một vòng tròn (thí dụ như trong một sợi thuỷ tinh tròn) và 2 chùm ánh sáng chuyển động ngược chiều nhau trong vòng đó như ta thấy trong Hình 317. Nếu đường đi quay với tần số quay Ω, ta có thể suy ra là, sau 1 vòng, hiệu số ΔL của chiều dài đường đi là

$$\Delta L = 2R\Omega t = \frac{4\pi R^2 \Omega}{c} . \quad (143)$$

Độ lệch phase sẽ là

$$\Delta\varphi = \frac{8\pi^2 R^2}{c\,\lambda}\Omega \quad (144)$$

nếu chiết suất bằng 1. Đây là công thức phải tìm cho trường hợp chính của hiệu ứng Sagnac.

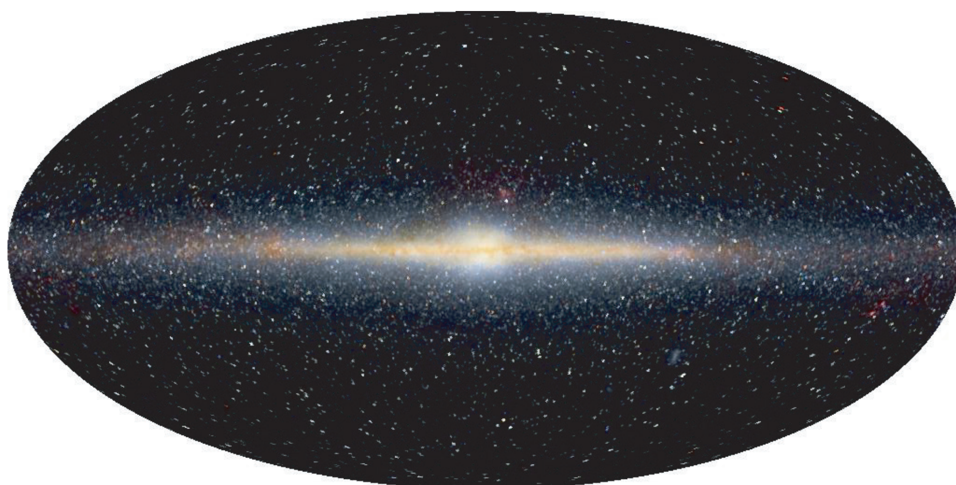
Người ta thường cho rằng chỉ có thể hiểu được hiệu ứng Sagnac với sự giúp đỡ của Thuyết tương đối tổng quát; điều này sai. Như ta vừa thấy, ta có thể dễ dàng suy ra hiệu ứng này từ tính bất biến của tốc độ ánh sáng c. Hiệu ứng này là hệ quả của Thuyết tương đối đặc biệt.

Câu đố 270, trang 146: Thanh kim loại có một đầu hơi dài hơn. Khi dây giữ nó bị đốt, moment quán tính của nó giảm đi 10^4 lần nên nó bắt đầu quay (một cách lý tưởng) với tốc độ gấp 10^4 lần tốc độ quay của Trái đất, một tốc độ có thể thấy được dễ dàng bằng cách chiếu một chùm ánh sáng lên gương và quan sát chuyển động của vết phản chiếu trên tường.

Câu đố 272, trang 153: Kết quả ban đầu của Bessel là 0.3136″, hay 657.7 ngàn lần bán kính quỹ đạo, mà ông nghĩ là 10.3 năm ánh sáng hay 97.5 Pm.

Câu đố 274, trang 156: Ngân hà tạo thành một dải trên bầu trời. Như vậy Ngân hà có cấu trúc dẹt. Điều này thấy rõ hơn dưới ánh sáng hồng ngoại, như trong Hình 318. Từ hình dạng dẹt (và sự đối xứng tròn của nó) ta có thể suy ra rằng Ngân hà đang quay. Và như vậy trong vũ trụ có các vật chất khác.

Câu đố 276, trang 159: Xem Trang 190.



HÌNH 318 Bầu trời đêm và Ngân hà được nhìn dưới ánh sáng hồng ngoại gần (Hình ảnh không đúng màu của NASA).

Câu đố 278, trang 159: Cân phản ứng với nhịp tim của bạn. Khối lượng gần như không đổi theo thời gian, trừ lúc tim đập: trong một thời gian ngắn, khối lượng có hạ xuống mỗi lần tim đập. Điều này bắt nguồn từ việc máu chạm vào cung động mạch chủ khi tim bơm máu đi lên. Tốc độ máu khoảng 0.3 m/s lúc tâm thất trái co lại nhiều nhất. Khoảng cách tới cung động mạch chủ là vài cm. Thời gian giữa lúc co và đổi hướng khoảng 15 ms. Và khối lượng đo được thay đổi ngay cả đối với người chết vì các dòng không khí làm nhiễu phép đo.

Câu đố 279, trang 160: Dùng Hình 97 ở Trang 139 cho nửa sau của quỹ đạo và hãy suy nghĩ kỹ về nửa đầu. Viên đạn rơi xuống hơi lệch về phía Tây của nơi bắn lên.

Câu đố 280, trang 160: Gợi ý: việc phóng hoả tiễn ở Xích đạo tiết kiệm được nhiều năng lượng, nhiên liệu và khối lượng.

Câu đố 283, trang 162: Ngọn lửa nghiêng về bên trong.

Câu đố 284, trang 162: Đúng. Không có vị trí cũng như hướng tuyệt đối. Do đó cũng không có vị trí và hướng ưu tiên. Về thời gian, thoạt tiên hình như chỉ có big bang là một ngoại lệ; nhưng khi các hiệu ứng lượng tử được bao gồm, việc không có thang đo thời gian ưu tiên đã được khẳng định.

Câu đố 285, trang 162: Khi đi thi thì tốt nhất là bạn nói rằng lực ly tâm không hiện hữu. Nhưng vì trong mỗi hệ dừng đều có sự cân bằng lực nên lập luận đó ít nhiều gì cũng có ý đánh lạc hướng.

Câu đố 288, trang 163: Đặt các tách trà lên một tấm bảng và cột tấm bảng vào 4 sợi dây dài mà bạn sẽ giữ chúng trong lòng bàn tay.

Câu đố 289, trang 163: Banh sẽ hướng theo chiều gia tốc. Kết quả là ta có thể tưởng tượng là banh trong ly đứng yên bị kéo lên do sàn nhà được gia tốc theo hướng lên trên. Ta sẽ trở lại vấn đề này trong phần Thuyết tương đối tổng quát.

Câu đố 290, trang 163: Ma sát do thuỷ triều trên Trái đất là nguyên nhân chính.

Câu đố 291, trang 164: Một vụ động đất 12 Richter có năng lượng gấp 1000 lần năng lượng ở Chile 1960; vụ ở Chile bắt nguồn từ vết nứt xuyên qua lớp vỏ Trái đất dày 40 km dọc theo chiều dài 1000 km và hai bên vết nứt trượt đi 10 m đối với nhau. Chỉ có sự va chạm với một thiên thạch lớn mới có thể dẫn tới giá trị lớn hơn 12.

Câu đố 293, trang 164: Có; nó xảy ra 2 lần/năm. Để giảm thiểu thiệt hại, đĩa sẽ được sơn màu

tối.

Câu đố 294, trang 164: Hoả tiễn bắn từ phía sau sẽ là phương tiện phòng thủ hoàn hảo chống lại phi cơ tấn công ở phía sau. Tuy nhiên, khi phóng ra, hoả tiễn bay ngược với không khí, nên vòng lại và gây nguy hiểm cho phi cơ phóng nó ra. Các kỹ sư không nghĩ ra điều này đã làm chết một phi công trong lần thử nghiệm đầu tiên.

Câu đố 295, trang 164: Bất kể con khỉ làm gì, leo lên hay leo xuống kể cả buông tay cho rơi xuống, nó vẫn có cùng độ cao với đối trọng. Điều gì sẽ xảy ra nếu có ma sát trên ròng rọc?

Câu đố 296, trang 164: Có, nếu người đó chuyển động theo hướng tạo thành một góc lớn so với hướng chuyển động của thuyền kéo.

Câu đố 297, trang 165: Xem bài báo của C. Ucke & H.-J. Schlichting, *Faszinierendes Dynabee*, Physik in unserer Zeit **33**, pp. 230–231, 2002.

Câu đố 298, trang 165: Xem bài báo của C. Ucke & H.-J. Schlichting, *Die kreisende Büroklammer*, Physik in unserer Zeit **36**, pp. 33–35, 2005.

Câu đố 299, trang 165: Nếu một nhẫn cưới quay quanh một trục không phải là trục chính, moment động lượng và vận tốc góc không song song.

Câu đố 300, trang 165: Moment quán tính của một quả cầu thuần nhất là $\Theta = \frac{2}{5}mr^2$.

Câu đố 301, trang 165: Ba moment quán tính của hình lập phương thì bằng nhau như hình cầu nhưng giá trị là $\Theta = \frac{1}{6}ml^2$. Như vậy công để làm cho hai vật này quay có khác nhau.

Câu đố 304, trang 166: Đúng, Mặt trăng khác nhau theo cách này. Bạn có thể tưởng tượng điều gì sẽ xảy ra đối với một quan sát viên ở Xích đạo không?

Câu đố 305, trang 168: Một đường thẳng ở thiên đỉnh và các vòng tròn nhỏ hơn ở 2 bên. Hãy xem một thí dụ ở website apod.nasa.gov/apod/ap021115.html.

Câu đố 307, trang 169: Mặt phẳng này được mô tả trong website đã đề cập; đối với một người đứng thì mặt phẳng là mặt phẳng thẳng đứng chứa 2 mắt.

Câu đố 308, trang 170: Nếu bạn làm được, vui lòng gởi video cho tác giả!

Câu đố 309, trang 170: Như ta đã nói trước kia, chân tăng trưởng, bảo trì, sửa chữa dễ hơn bánh xe; ngoài ra, chân không cần mặt phẳng ('đường phố') để hoạt động.

Câu đố 310, trang 172: Công thức cầu thang là một công thức thực nghiệm được nhiều kỹ sư sử dụng trên khắp thế giới. Nguồn gốc và cách giải thích hình như đã mất đi trong lịch sử.

Câu đố 311, trang 172: Thiên nhiên cổ điển hay thông thường có tính đối xứng phải-trái và như vậy cần một số chẵn chân. Việc đi trên mặt phẳng 2 chiều thường dẫn tới con số tối thiểu 4 chân. Sao biển, ốc sên, con trai, lươn và rắn là những ngoại lệ quan trọng nhất để chứng tỏ lập luận đó không đúng.

Câu đố 313, trang 174: Chiều dài của ngày thay đổi theo vĩ độ. Hay chiều dài của cái bóng, độ cao của sao vào ban đêm, những sự kiện mà bạn có thể kiểm chứng dễ dàng bằng cách gọi điện thoại cho một người bạn. Tàu thuỷ xuất hiện ở chân trời với cột buồm xuất hiện đầu tiên. Những luận chứng này, cùng với bóng tròn của Trái đất trong hiện tượng nguyệt thực, thí nghiệm mọi vật đều rơi xuống, đã được Aristotle đưa ra trong quyển sách của ông *On the Heavens*. Bây giờ người ta đã biết rằng mọi người trong 2500 năm qua đã biết Trái đất là một quả cầu. Câu chuyện thần thoại mà nhiều người thường tin là Trái đất phẳng – câu chuyện có tính chất cường điệu và khiêu khích – do Copernicus đưa ra. Câu chuyện càng ngày càng được phóng đại trong các thế kỷ sau đó vì một công cụ phát tán các lời nói dối mới được phát minh: sự ấn hành sách vở. Sự thật là trong 2500 năm, rất nhiều người đã biết rằng Trái đất là một hình cầu.

Quyển III, trang 312

Câu đố 314, trang 178: Vector ***SF*** có thể được tính bằng cách sử dụng công thức ***SC*** =

$-(GmM/E)\,\boldsymbol{SP}/SP$ và chuyển phép dựng trong hình thành công thức. Kết quả là

$$\boldsymbol{SF} = \frac{\boldsymbol{K}}{mE} \tag{145}$$

trong đó

$$\boldsymbol{K} = \boldsymbol{p} \times \boldsymbol{L} - GMm^2\boldsymbol{x}/x \tag{146}$$

được gọi là *vector Runge–Lenz*. Vector Runge-Lenz hướng từ tiêu điểm thứ hai đến tiêu điểm thứ nhất của ellipse (Mặt trời). Ta đã sử dụng $\boldsymbol{x} = \boldsymbol{SP}$ để chỉ vị trí của vật, $\boldsymbol{p}$ là động lượng và $\boldsymbol{L}$ là moment động lượng. Vector Runge–Lenz $\boldsymbol{K}$ *không đổi* dọc theo quỹ đạo của vật, do đó nó có *cùng* giá trị như nhau ở mọi vị trí $\boldsymbol{x}$ trên quỹ đạo. (Hãy chứng minh điều này bắt đầu từ $\boldsymbol{xK} = xK\cos\theta$.) Vector Runge–Lenz là một đại lượng *bảo toàn* trong trường hấp dẫn. Kết quả là vector $\boldsymbol{SF}$ cũng không đổi theo thời gian.

Vector Runge–Lenz cũng thường được sử dụng trong Cơ lượng tử, khi tính các mức năng lượng của nguyên tử hydrogen, vì nó xuất hiện trong mọi bài toán có thế $1/r$. (Đúng ra, cái tên không đúng 'vector Runge–Lenz' bắt nguồn từ Wolfgang Pauli; người khám phá ra vector này vào năm 1710 là Jakob Hermann.)

Câu đố 316, trang 179: Trên quỹ đạo, hãy xem Trang 193.

Câu đố 317, trang 179: Gia tốc hấp dẫn nhỏ của Mặt trăng, $1.6\,\mathrm{m/s^2}$, khiến cho các phân tử khí ở nhiệt độ thông thường có thể thoát khỏi lực hút của nó.

Câu đố 318, trang 180: Ngọn của mũi tên vận tốc, vẽ ra theo thời gian, tạo ra một đường tròn quanh tâm chuyển động.

Câu đố 319, trang 180: Hãy vẽ hình của trường hợp này.

Câu đố 320, trang 180: Hãy vẽ hình của trường hợp này.

Câu đố 321, trang 181: Giá trị của tích GM đối với Trái đất là $4.0 \cdot 10^{14}\,\mathrm{m^3/s^2}$.

Câu đố 322, trang 181: Mọi điểm đều có thể chạm tới trong trường hợp góc nghiêng tổng quát; nhưng khi bắn ngang, chỉ có thể chạm tới điểm nằm trên nửa đầu của chu vi.

Câu đố 323, trang 183: Trên Mặt trăng, gia tốc hấp dẫn là $1.6\,\mathrm{m/s^2}$, khoảng 1/6 giá trị trên Trái đất. Giá trị trên mặt các hành tinh có thể tìm được trên Internet.

Câu đố 324, trang 183: Máy Atwood: hai khối lượng gần bằng nhau m_1 và m_2 nối với nhau bằng một sợi dây vắt qua một ròng rọc được bôi trơn, khối lượng không đáng kể. Vật nặng hơn sẽ rơi rất chậm. Bạn có thể chứng minh gia tốc a của vật rơi 'không tự do' này bằng $a = g(m_1 - m_2)/(m_1 + m_2)$ không? Nói cách khác, hiệu 2 khối lượng càng nhỏ thì sự rơi càng chậm.

Câu đố 325, trang 183: Bạn nên cố gắng tìm hiểu nguồn gốc của biểu thức này. Nó cho phép ta tìm hiểu nhiều khái niệm quan trọng của Cơ học. Ý tưởng ở đây là đối với biên độ nhỏ, gia tốc của con lắc chiều dài l bắt nguồn từ trọng lực. Bằng cách vẽ một sơ đồ lực đối với con lắc có góc dao động α ta thấy rằng

$$\begin{aligned} ma &= -mg\sin\alpha \\ ml\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} &= -mg\sin\alpha \\ l\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} &= -g\sin\alpha\,. \end{aligned} \tag{147}$$

Khi biên độ nhỏ (dưới 15°) ta có thể tính gần đúng

$$l\frac{\mathrm{d}^2\alpha}{\mathrm{d}t^2} = -g\alpha\,. \tag{148}$$

Đây là phương trình của một dao động điều hoà (tức là dao động hình sin). Kết quả là:

$$\alpha(t) = A \sin(\omega t + \varphi) \ . \qquad (149)$$

Biên độ A và phase φ phụ thuộc các điều kiện ban đầu; tuy nhiên, tần số dao động phụ thuộc chiều dài con lắc và gia tốc trọng lực (hãy kiểm tra điều này!):

$$\omega = \sqrt{\frac{l}{g}} \ . \qquad (150)$$

(Đối với biên độ bất kỳ, công thức phức tạp hơn; hãy xem trên Internet hay các sách Cơ học để biết thêm chi tiết.)

Câu đố 326, trang 183: Tốc độ đi bộ tỷ lệ với l/T, khiến cho nó tỷ lệ với $l^{1/2}$. Xét tổng quát thì mối liên hệ này cũng đúng đối với động vật. Thật vậy, thí nghiệm chứng tỏ rằng tốc độ đi bộ cực đại (không phải là chạy) đối với mọi động vật được cho bởi công thức

$$v_{\text{maxwalking}} = (2.2 \pm 0.2)\,\text{m}^{1/2}/\text{s}\ \sqrt{l} \ . \qquad (151)$$

Câu đố 330, trang 185: Không có công thức nào có triển vọng. Bạn có thể tìm ra một công thức không?

Câu đố 331, trang 185: Gia tốc do lực hấp dẫn là $a = Gm/r^2 \approx 5\,\text{nm/s}^2$ đối với vật 75 kg. Con ruồi có khối lượng $m_{\text{fly}} = 0.1$ g đáp trên người với tốc độ $v_{\text{fly}} = 1$ cm/s và làm biến dạng da (không có mất mát năng lượng) một khoảng $d = 0.3$ mm, người sẽ có gia tốc $a = (v^2/d)(m_{\text{fly}}/m) = 0.4\,\mu\text{m/s}^2$. Năng lượng mất mát do sự va chạm không đàn hồi làm giảm giá trị này ít nhất 10 lần.

Câu đố 332, trang 188: Việc tính toán sẽ cho ta thấy một giá trị lớn một cách lạ kỳ chứa trong chuyển động nhiệt.

Câu đố 333, trang 188: Được, người ta đã đo được hiệu ứng này ở các toà nhà chọc trời. Bạn có thể ước tính giá trị của chúng không?

Câu đố 336, trang 189: Cách dễ nhất để thấy điều này là vẽ lực hấp dẫn như là một dòng phát ra từ một hình cầu. Điều này cho ta sự phụ thuộc $1/r^{d-1}$ đối với lực và $1/r^{d-2}$ đối với thế.

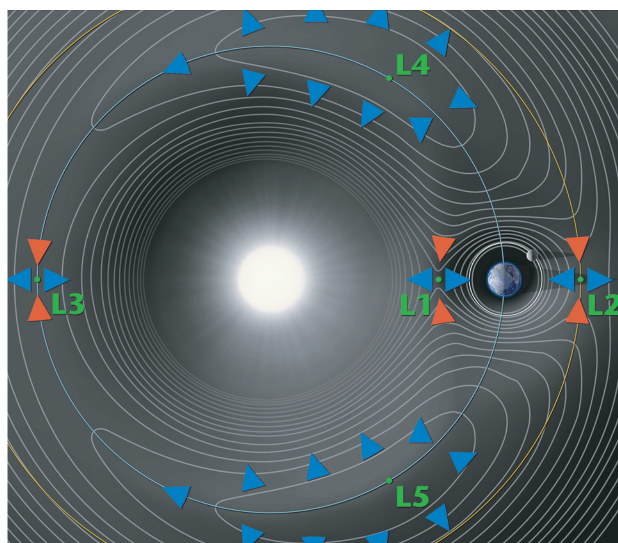
Câu đố 338, trang 190: Vì quỹ đạo của vật rơi tự do là ellipse, là đường cong nằm trong mặt phẳng, nên điều này là hiển nhiên.

Câu đố 340, trang 192: Một chớp sáng được gởi lên Mặt trăng, nơi có nhiều gương phản chiếu Mắt mèo đã được các tàu Lunokhod và Apollo để lại. Độ chính xác của phép đo thời gian ánh sáng đi và về đủ để đo sự thay đổi khoảng cách của Mặt trăng. Để biết thêm chi tiết hãy xem câu đố 8.

Câu đố 342, trang 194: Một vật có động lượng bằng 0 ở vô cực có quỹ đạo là parabol. Nếu có động lượng nhỏ hơn thì quỹ đạo là ellipse và động lượng lớn hơn thì quỹ đạo là hyperbol.

Câu đố 345, trang 195: Các điểm Lagrange L4 và L5 trên quỹ đạo, 60° trước và sau vật đang chuyển động. Chúng ổn định nếu tỷ số khối lượng giữa vật trung tâm và vật quay đủ lớn (trên 24.9).

Câu đố 346, trang 195: Điểm Lagrange L3 trên quỹ đạo, nhưng ở phía bên kia của vật trung tâm. Điểm Lagrange L1 nằm trên đường nối hành tinh với vật trung tâm, trong khi L2 nằm ngoài quỹ đạo, cũng trên đường đó. Nếu R là bán kính quỹ đạo, khoảng cách giữa vật quay và L1, L2 là $\sqrt[3]{m/3M}\,R$, khoảng 4 lần khoảng cách từ Mặt trăng tới hệ Mặt trời–Trái đất. L1, L2 và L3 là các điểm yên ngựa nhưng có có các quỹ đạo ổn định chung quanh chúng. Nhiều vệ tinh lợi dụng các tính chất này, bao gồm vệ tinh WMAP là vệ tinh đo các gợn sóng của big bang, được đặt ở điểm



HÌNH 319 Các điểm Lagrange và thế hiệu dụng tạo ra chúng (NASA).

'yên tĩnh' L2, nơi ta có thể che chắn Mặt trời, Trái đất và Mặt trăng một cách dễ dàng và nhiệt độ vệ tinh sẽ không thay đổi.

Câu đố 347, trang 197: Đây là một hiệu ứng cộng hưởng, giống như một dao động nhỏ của một sợi dây có thể khiến cho không khí và hộp cộng hưởng trong đàn guitar dao động mạnh.

Câu đố 349, trang 200: Biểu thức cường độ của triều, cụ thể là $2GM/d^3$, có thể viết lại là $(8/3)\pi G\rho(R/d)^3$. R/d gần bằng nhau đối với Mặt trời và Mặt trăng, như mỗi lần thiên thực đã cho ta thấy. Vì vậy mật độ ρ của Mặt trăng phải lớn hơn. Đúng ra tỷ số cường độ (độ cao) của triều đối với Mặt trăng và Mặt trời gần bằng 7 : 3. Đây cũng là tỷ số mật độ khối lượng của 2 vật.

Câu đố 350, trang 200: Moment động lượng toàn phần của Trái đất và Mặt trăng phải không đổi.

Câu đố 352, trang 202: Chờ đến khi có nhật thực.

Câu đố 354, trang 204: Không may là truyện thần thoại 'khối lượng hấp dẫn thụ động' lan toả trong nhiều cuốn sách. Việc xem xét cẩn thận chứng tỏ rằng ta có thể đo nó chính xác như đo khối lượng quán tính.

Cả 2 khối lượng được đo với cùng một bộ máy móc dụng cụ. Và mọi thí nghiệm này hoà trộn và đòi hỏi tác dụng của cả 2 loại khối lượng. Thí dụ như, cân thể trọng phải dập tắt mọi dao động, cần khối lượng quán tính. Nói một cách tổng quát, hình như ta không thể phân biệt 2 loại khối lượng bắt nguồn từ mọi vật trong phần còn lại của vũ trụ. Tóm lại, hai khái niệm này thực sự đồng nhất.

Câu đố 356, trang 204: Các vấn đề này nảy sinh vì khối lượng hấp dẫn xác định thế năng còn khối lượng quán tính xác định động năng.

Câu đố 358, trang 206: Hoặc là họ rơi trên triền núi tuyết hay trên ngọn cây cao hoặc các kết cấu mềm khác. Kỷ lục là trên 7 km rơi tự do mà sống sót. Một trường hợp vừa xảy ra năm 2007 và được kể lại tại trang www.bbc.co.uk/jersey/content/articles/2006/12/20/michael_holmes_fall_feature.shtml.

Câu đố 360, trang 207: Với vài ngàn Euro, bạn có thể trải nghiệm trạng thái không trọng lượng trong một chuyến bay parabol, như một chuyến trong Hình 320. (Nhiều 'hình ảnh' của các



HÌNH 320 'Sao chổi nôn mửa' nổi tiếng, một chiếc KC-135, thực hiện một chuyến bay parabol (NASA).

chuyến bay parabol tìm thấy trên Internet thực sự là các hình đồ hoạ máy tính. Còn hình này?)

Cảm giác không trọng lượng sẽ như thế nào? Nó giống như lơ lửng trong nước nhưng không có sức cản của nước. Nó cũng giống như lúc ở trong không khí khi ta nhảy xuống nước. Tuy vậy, đối với phi hành gia, có thêm một cảm giác; khi họ quay đầu nhanh, các cảm biến định hướng trong tai không được trọng lực điều chỉnh lại như lúc đầu. Do đó, trong một hai ngày đầu tiên, phần lớn các phi hành gia có cảm giác chóng mặt hay nôn mửa, được gọi là *hội chứng thích nghi với không gian*. Sau thời gian đó, cơ thể thích ứng được và phi hành gia có thể hoàn toàn thích thú với tình trạng này.

Câu đố 361, trang 207: Khối tâm của chổi rơi với gia tốc thông thường; đầu chổi sẽ rơi nhanh hơn.

Câu đố 362, trang 208: Chỉ cần sử dụng sự bảo toàn năng lượng cho người và dây. Để biết thêm chi tiết, bao gồm sự so sánh số đo thực nghiệm và lý thuyết, hãy xem N. Dubelaar & R. Brantjes, *De valversnelling bij bungee-jumping*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **69**, pp. 316–318, October 2003.

Câu đố 363, trang 208: Khoảng 1 tấn.

Câu đố 364, trang 208: Khoảng 5 g.

Câu đố 365, trang 208: Trọng lượng của bạn gần như không đổi; như vậy Trái đất phải tròn. Trên một Trái đất phẳng, trọng lượng sẽ thay đổi từ nơi này sang nơi khác, phụ thuộc vào khoảng cách tới đường biên.

Câu đố 366, trang 208: Không ai nói rằng khối tâm trùng với tâm của trọng lực! Lực hút của Mặt trăng có thể bỏ qua trên mặt Trái đất.

Câu đố 368, trang 209: Đó là khối lượng của Trái đất. Chỉ cần úp mặt bàn xuống đất.

Câu đố 370, trang 209: Mặt trăng sẽ xa hơn khoảng 1.25 lần như bây giờ. Mặt trời lúc đó sẽ làm chuyển động của hệ Trái đất–Mặt trăng chậm lại, lần này do ma sát của hiện tượng triều từ sự biến dạng của Mặt trời và nhỏ hơn nhiều. Kết quả là Mặt trăng càng lúc càng gần Trái đất. Tuy vậy Mặt trời sẽ trở thành sao kềnh đỏ nuốt cả Trái đất và Mặt trăng.

Câu đố 372, trang 210: Như Galilei đã xác định, đối với dao động (nửa chu kỳ), tỷ số là $\sqrt{2}/\pi$. (Xem câu 325). Nhưng bằng cách này chỉ có thể xác định 2, 3 chữ số thập phân của π.

Câu đố 373, trang 210: Sự bảo toàn động lượng không phải là một trở ngại, vì một cái vợt tennis cũng có tác dụng tương tự đối với banh tennis.



HÌNH 321 Hành tích, vào buổi trưa, Từ tháng 1 đến tháng 12 năm 2002, tại đền Parthenon ở Acropolis, Athen và trên một Nhật quỹ chính xác (© Anthony Ayiomamitis, Stefan Pietrzik).

Câu đố 374, trang 210: Đúng ra, trong không gian vận tốc, các chuyển động ellipse, parabol và hyperbol đều được mô tả bằng các đường tròn. Trong mọi trường hợp tốc đồ là một đường tròn. Xem 162

Câu đố 375, trang 211: Câu hỏi này khá xưa (từ thời Newton) và khá sâu sắc. Một lý do là các ngôi sao được giữ xa nhau nhờ liên tục quay quanh thiên hà. Lý do khác là các thiên hà giữ được động lượng của chúng từ thời big bang. Không có big bang, mọi ngôi sao sẽ phải cùng nhau suy sụp. Theo ý nghĩa này, big bang có thể được suy ra từ lực hấp dẫn và bầu trời đêm bất động. Sau này ta sẽ khám phá ra rằng sự tối đen của bầu trời sẽ cho ta một luận cứ thứ 2 về big bang.

Câu đố 376, trang 212: Việc chọn lựa sẽ dễ dàng nếu bạn nhận ra rằng không có phần nào của quỹ đạo lõm về phía Mặt trời. Bạn có thể chứng minh điều này không?

Câu đố 378, trang 212: Vận tốc thoát từ Trái đất để rời Thái dương hệ – không nhờ các hành tinh khác trợ giúp – là 42 km/s. Tuy vậy, nếu cho phép các hành tinh khác trợ giúp, nó có thể nhỏ hơn phân nửa giá trị này (Tại sao?).

Nếu vận tốc thoát từ một vật lớn hơn tốc độ ánh sáng, vật sẽ là một hố đen; ngay cả ánh sáng cũng không thể thoát ra. Hố đen sẽ được bàn chi tiết trong quyển nói về Thuyết tương đối. Quyển II, trang 268

Câu đố 379, trang 212: Sử dụng độ nhảy cao tối đa h =0.5 m trên Trái đất và một tiểu hành tinh có mật độ ρ =3 Mg/m^3, ta tính được bán kính cực đại $R^2 = 3gh/4\pi G\rho$, hay $R \approx 2.4$ km.

Câu đố 380, trang 212: Một tay đòn có 2 vật.

Câu đố 382, trang 212: Lý luận này khác với lý luận thông thường trong biểu thức $ma = gMm/R^2$, m bên trái là khối lượng quán tính, m là khối lượng hấp dẫn, ở chỗ nào?

Câu đố 384, trang 213: Yếu tố quyết định là độ thẳng đứng *địa phương*; đối với nó sông luôn luôn chảy xuống.

Câu đố 385, trang 213: Hình dạng của hành tích vào buổi trưa được trình bày trong Hình 321. Người ta đã biết đến nó từ hơn 2000 năm trước! Hình dạng của nó cũng minh hoạ lý do tại sao bình minh sớm nhất không phải trong ngày dài nhất của năm.

Hình dạng kéo dài theo phương thẳng đứng bắt nguồn từ độ nghiêng của trục Trái đất (nó là 2 lần 23.45°). Sự kéo giãn theo phương ngang bắt nguồn từ sự tổ hợp của độ nghiêng và tính ellipse của quỹ đạo quanh Mặt trời. Cả hai hiệu ứng này khiến cho sự thay đổi vị trí của Mặt trời vào buổi trưa gần như nhau trong suốt thời gian một năm. Vị trí bất đối xứng của điểm cắt nhau ở giữa chỉ do tính ellipse của quỹ đạo. Hình dạng của hành tích, đôi khi được biểu diễn trên quả địa cầu, được chế tạo thành cái cột có bóng hay cung trị số trên các nhật quỹ chính xác. Một thí dụ có trong hình trên và một thí dụ có trong hình ở Trang 46. Để biết thêm chi tiết hãy xem B. M. Oliver, *The shape of the analemma*, Sky & Telescope **44**, pp. 20–22, 1972, và các bổ chính của hình ảnh ở **44**, p. 303, 1972,

Câu đố 386, trang 216: Có thể xảy ra sự thu nạp các vật lỏng nếu nó bị triều lực tách ra.

Câu đố 387, trang 216: Đường hầm sẽ là một ellipse kéo dài trong mặt phẳng Xích đạo, đi từ một điểm ở Xích đạo đến điểm xuyên tâm đối. Thời gian đi một vòng sẽ không thay đổi so với khi Trái đất không quay. Hãy xem A. J. Simonson, *Falling down a hole through the Earth*, Mathematics Magazine 77, pp. 171–188, June 2004.

Câu đố 389, trang 216: Khối tâm của Thái dương hệ có thể cách tâm Mặt trời 2 lần bán kính của nó tức là ở bên ngoài Mặt trời.

Câu đố 390, trang 216: Trước hết, trong mùa hè ở Bắc bán cầu Trái đất chuyển động quanh Mặt trời nhanh hơn mùa đông. Thứ hai, đường đi của Mặt trời trên bầu trời thấp hơn khiến cho ngày dài hơn vì còn ánh sáng của Mặt trời khi nó ở dưới chân trời.

Câu đố 391, trang 216: Ngoài sự khả kiến của Mặt trăng người ta chưa phát hiện được tác dụng của Mặt trăng lên con người. Hiệu ứng hấp dẫn – bao gồm các hiệu ứng triều – hiệu ứng điện, hiệu ứng từ và các biến đổi trong tia vũ trụ đều bị che lấp bởi các hiệu ứng khác. Thật ra lực hấp dẫn của các xe tải đi ngang qua, trường điện từ của các nhà máy, thời tiết và các hoạt động của Mặt trời ảnh hưởng đến con người nhiều hơn Mặt trăng. Sự liên quan giữa chu kỳ kinh nguyệt với các phase của Mặt trăng là một hiệu ứng có thể nhận ra được.

Câu đố 392, trang 216: Các khoảng cách rất khó đo. Ta dễ dàng trong việc quan sát hành tinh ở trước Mặt trời nhưng khó kiểm tra xem nó có ở sau Mặt trời hay không. Các phase của Kim tinh cũng đã được hệ địa tâm tiên đoán; nhưng các phase mà nó tiên đoán không khớp với các phase được quan sát. Chỉ có các phase suy ra từ hệ nhật tâm mới phù hợp với sự quan sát. Kim tinh quay quanh Mặt trời.

Câu đố 393, trang 217: Hãy xem phần sách tham khảo.

Câu đố 394, trang 218: Đúng.

Câu đố 395, trang 218: Đối với mỗi cặp phần tử đối nhau của vỏ cầu (vẽ bằng màu vàng), hai lực bù trừ nhau.

Câu đố 396, trang 218: Không có cách trong thực tế; nếu các khối trên vỏ cầu có thể di chuyển, dọc theo bề mặt (giống như điện tích có thể di chuyển trong kim loại) thì điều này có thể xảy ra, miễn là có đủ khối lượng.

Câu đố 400, trang 219: Được và người ta đã nghĩ đến nó nhiều lần, kể cả Jules Verne. Tốc độ cần thiết tuỳ thuộc vào hướng bắn đối với chiều quay của Trái đất.

Câu đố 401, trang 219: Không bao giờ. Mặt trăng chỉ hướng một mặt về phía Trái đất. Vị trí Trái đất có thay đổi chút ít do tính ellipse của quỹ đạo Mặt trăng. Hiển nhiên là Trái đất có trải qua các phase.

Câu đố 403, trang 219: Không có những vật như vậy như chương về Thuyết tương đối tổng quát sẽ cho ta thấy.

Câu đố 405, trang 223: Dao động là hình sin thuần tuý, hay dao động điều hoà, vì lực hồi phục tăng tuyến tính theo khoảng cách tới tâm Trái đất. Chu kỳ T cho Trái đất thuần nhất là $T = 2\pi\sqrt{R^3/GM} = 84\,\text{min}$.

Câu đố 406, trang 223: Chu kỳ giống nhau cho mọi loại đường hầm là 84 min. Hãy xem thí dụ như R. H. Romer, *The answer is forty-two – many mechanics problems, only one answer*, Physics Teacher **41**, pp. 286–290, May 2003.

Câu đố 407, trang 223: Nếu Trái đất không quay, con đường tổng quát nhất của hòn đá rơi là một ellipse có tâm là tâm Trái đất. Đối với Trái đất quay, ellipse sẽ tiến động. Simoson đã phỏng đoán rằng các đường cuộn xoắn ốc ngôi sao trong tinh vân Spirograph, tìm được tại antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap021214.html, có thể bắt nguồn từ những hiệu ứng như vậy. Một trường hợp đặc biệt là một đường thẳng đứng bắt đầu từ Xích đạo; trong trường hợp này, đường đi sẽ giống như

Xem 177 đường đi của con lắc Foucault, một ngôi sao nhọn 16 điểm là nơi hòn đá quay vòng lại quanh Xích đạo.

Câu đố 408, trang 223: Không có câu trả lời đơn giản: tốc độ này phụ thuộc vĩ độ và các tham số khác. Internet cũng cung cấp các video về nhật thực được nhìn từ không gian cho ta thấy cách mà bóng di chuyển trên mặt đất.

Câu đố 409, trang 223: Lực ly tâm phải bằng lực hấp dẫn. Gọi mật độ dài là d và chiều dài là l. Như vậy ta có $GMd\int_R^{R+l} \mathrm{d}r/r^2 = \omega^2 d\int_R^{R+l} r\,\mathrm{d}r$. Hay $GMdl/(R^2+Rl) = (2Rl+l^2)\omega^2 d/2$, và kết quả là $l = 0.14\,\mathrm{Gm}$. Để biết thêm thông tin về thang máy không gian hãy xem câu đố 573.

Câu đố 411, trang 224: Vành bên trong phải quay nhanh hơn vành bên ngoài. Nếu vành là chất rắn nó phải vỡ ra. Nhưng lý luận này chỉ đúng nếu các vành này ở bên trong một giới hạn nào đó được gọi là *giới hạn Roche*. Giới hạn Roche là bán kính mà tại đó lực hấp dẫn F_g và triều lực F_t khử nhau trên bề mặt của vệ tinh. Đối với một vệ tinh khối lượng m bán kính r, quay quanh vật khối lượng M cách nhau một khoảng d, ta hãy nhìn lực tác dụng lên các vật khối lượng nhỏ μ trên mặt của nó. Ta kiếm được điều kiện $Gm\mu/r^2 = 2GM\mu r/d^3$. Sau một chút biến đổi đại số, ta sẽ được giới hạn Roche gần đúng là

$$d_{\text{Roche}} = R\left(2\frac{\rho_M}{\rho_m}\right)^{1/3} . \tag{152}$$

Không thể có các vệ tinh lỏng cách vật ở tâm M một khoảng nhỏ hơn giới hạn đó. Các tính toán trình bày ở đây chỉ là gần đúng; giới hạn Roche thực sự bằng 2 lần giá trị đó.

Câu đố 414, trang 228: Gấp 5 lần khi nó đứng. Điều này giải thích lý do ngựa đua thường bị gãy chân.

Câu đố 415, trang 228: Ở trường, bạn được mong chờ để trả lời là bằng nhau. Điều này chỉ là gần đúng. Thật ra khi cát rơi đều cân chỉ một khối lượng hơi lớn hơn khi tất cả cát đứng yên. Ta dùng dòng động lượng để giải thích kết quả một cách đơn giản: ta chỉ cần chú ý đến động lượng
Xem 86 của cát ở phần trên, mọi hiệu ứng khác không quan trọng. Động lượng đó giảm đi trong khi cát rơi. Động lượng của cân chảy ra: trọng lượng hiệu dụng tăng lên. Cũng nên xem thí nghiệm chứng minh và sự giải thích của F. Tuinstra & B. F. Tuinstra, *The weight of an hourglass*, Europhysics News **41**, pp. 25–28, March 2010, cũng có sẵn trên mạng.

Nếu ta tưởng tượng một photon nảy lên xuống trong một cái hộp làm bằng kính hoàn hảo, ý tưởng từ câu đố đồng hồ cát hàm ý rằng cân sẽ chỉ khối lượng tăng lên so với khi không có photon. Trọng lượng tăng lên Eg/c^2, trong đó E là năng lượng của photon, $g = 9.81\,\mathrm{m/s^2}$ và c là tốc độ ánh sáng. Câu chuyện này được kể trong E. Huggins, *Weighing photons using bathroom scales: a thought experiment*, The Physics Teacher **48**, pp. 287–288, May 2010,

Câu đố 416, trang 229: Điện năng tiêu thụ của thang cuốn đi lên thực ra gia tăng khi người ở trên đó đi lên. Tăng lên bao nhiêu?

Câu đố 417, trang 229: Kiến thức là công suất. Thời giờ là tiền bạc. Công suất là công trong đơn vị thời gian. Thay vào phương trình trước và biến đổi chúng ta được

$$\text{tiền bạc} = \frac{\text{công}}{\text{kiến thức}} , \tag{153}$$

chứng tỏ rằng bạn càng biết ít thì càng làm ra nhiều tiền. Đó là lý do tại sao khoa học gia có lương thấp.

Câu đố 418, trang 229: Trong thực tế bắp thịt giữ một vật trên mặt đất bằng cách liên tục nâng vật lên và thả vật xuống; việc đó cần năng lượng và công.

Câu đố 421, trang 232: Có, vì gió tạt ngang làm tăng tốc độ hiệu dụng v trong không khí do phép cộng vector và vì sức cản không khí (gần như) tỷ lệ với v^2.

Câu đố 422, trang 234: Không có ma sát tĩnh sẽ ngăn chất lỏng dính vào vật thể; lớp ngoại biên sẽ không còn. Như vậy sẽ không còn tác dụng của cánh.

Câu đố 424, trang 235: Có đúng không?

Câu đố 426, trang 235: Từ $dv/dt = g - v^2(1/2c_w A\rho/m)$ và sử dụng ký hiệu $c = 1/2c_w A\rho$, ta có thể tìm được $v(t)$ bằng cách đưa mọi số hạng có v qua một bên, mọi số hạng có t về bên kia rồi lấy tích phân 2 vế. Ta được $v(t) = \sqrt{gm/c}\tanh\sqrt{cg/m}\,t$.

Câu đố 427, trang 237: Đối với các vật biến dạng được, các tính chất nội tại là mật độ khối lượng – tức là một hàm không thời gian – và trạng thái được mô tả bằng mật độ động năng, động lượng và moment động lượng địa phương, cũng như ứng suất và sự phân bố độ biến dạng của nó.

Câu đố 428, trang 237: Điện tích.

Câu đố 429, trang 237: Không gian phase có $3N$ toạ độ vị trí và $3N$ toạ độ động lượng.

Câu đố 430, trang 237: Ta cũng nhắc lại rằng khi một hòn đá được ném đi, các điều kiện ban đầu tóm tắt các tác dụng của người ném, lịch sử của người ấy, cách anh ta có các điều đó v.v...; nói cách khác, điều kiện ban đầu tóm tắt quá khứ của hệ, tức là các tác dụng của môi trường trong lịch sử của hệ. Do đó, vũ trụ không có điều kiện ban đầu và không gian phase. Nếu bạn đã tìm thấy lý do để trả lời là có, bạn đã bỏ sót một điều gì đó. Chỉ cần tìm hiểu kỹ hơn và kiểm tra các khái niệm mà bạn sử dụng có áp dụng được cho vũ trụ hay không. Bạn cũng cần định nghĩa cẩn thận đối tượng mà bạn gọi là 'vũ trụ'.

Câu đố 431, trang 237: Động cơ ánh sáng là một thí dụ.

Quyển III, trang 122

Câu đố 433, trang 239: Một hệ cho thấy chuyển động của vật chất hay năng lượng nhanh hơn ánh sáng sẽ dẫn tới việc có các quan sát viên thấy thứ tự của nguyên nhân và hậu quả đảo ngược lại. Một sơ đồ không-thời gian (và một ít bài tập trong phần Thuyết tương đối) sẽ chứng tỏ điều này.

Câu đố 434, trang 240: Nếu không có tính tái tạo được, ta sẽ gặp khó khăn khi kiểm tra các quan sát; việc đọc đồng hồ cũng là một quan sát. Mối liên hệ giữa tính tái tạo được và thời gian sẽ trở nên quan trọng trong phần sau cùng của cuộc du hành của chúng ta.

Câu đố 435, trang 241: Mặc dù sự ngạc nhiên ít khi xảy ra, mỗi ngạc nhiên sẽ làm cho ta không thể định nghĩa thời gian ngay trước và sau khi ngạc nhiên.

Câu đố 438, trang 242: Dĩ nhiên là có; các quy tắc luân lý là tóm tắt những điều mà người khác suy nghĩ hay sẽ làm về các hành động cá nhân.

Câu đố 439, trang 243: Đường trượt nhanh nhất giữa 2 điểm, *đường đoản thời*, hoá ra là đường *cycloid*, đường cong do một điểm trên bánh xe lăn dọc theo một mặt phẳng nằm ngang. Chứng minh có thể tìm thấy bằng nhiều cách. Cách đơn giản nhất là của Johann Bernoulli và có trên en.wikipedia.org/wiki/Brachistochrone_problem.

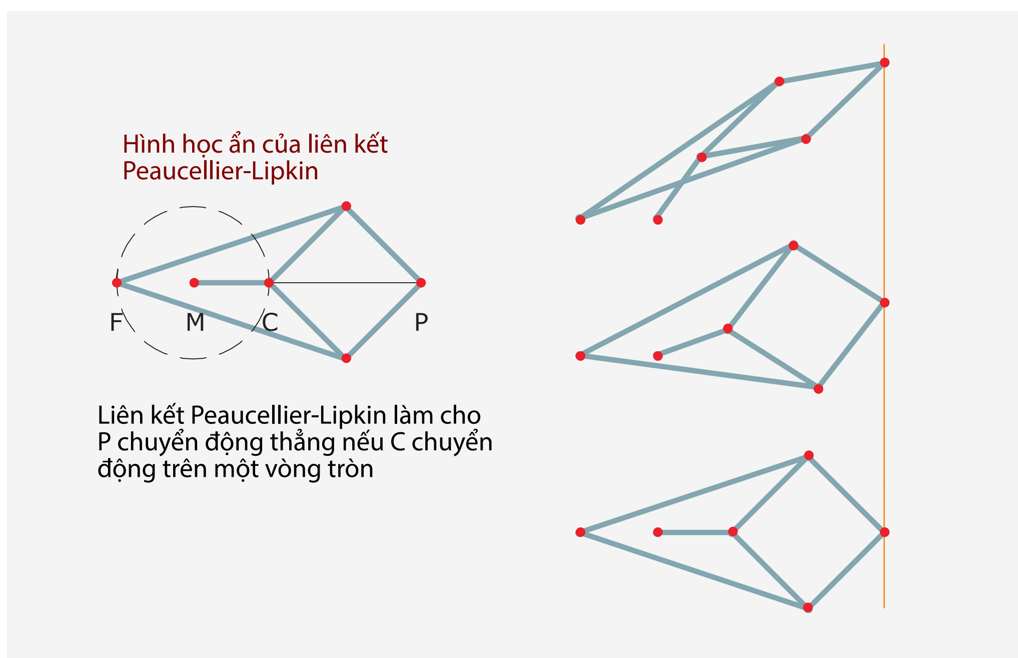
Câu đố 441, trang 243: Khi F, C và P thẳng hàng, vòng tròn này có bán kính $R = \sqrt{\text{FCFP}}$; F là tâm vòng tròn. Nói cách khác liên kết Peaucellier-Lipkin thực hiện một phép nghịch đảo một vòng tròn.

Câu đố 442, trang 243: Khi F, C và P thẳng hàng, vòng tròn mà ta phải theo có bán kính bằng 1/2 FC; tâm của nó nằm giữa F và C. Hình 322 minh hoạ cho điều này.

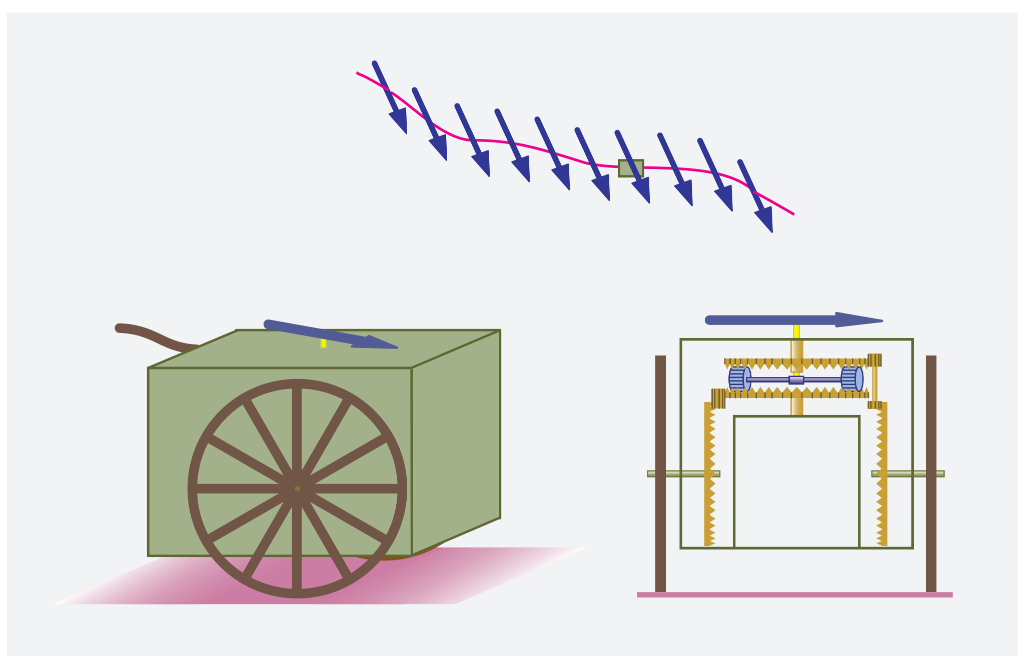
Câu đố 443, trang 244: Hình 323 cho thấy sự phục dựng đáng tin cậy nhất của một xe Chỉ-Nam.

Câu đố 445, trang 245: Nước được kéo lên dọc theo mặt quả trứng đang quay. Cách nhanh nhất để làm cạn một chai nước là làm nước quay tròn trong khi đổ nó ra.

Câu đố 446, trang 245: Cách đúng là cách mà ống khói ngã theo hình chữ V, không phải chữ V ngược. Hãy xem câu 361 về cái chổi rơi để có cảm hứng tìm ra câu trả lời. Hai thí dụ trong Hình 324. Hoá ra ống khói gãy (nếu nó không gắn chặt với nền đất) ở độ cao từ 1/2 tới 2/3 chiều dài, tuỳ theo góc mà sự kiện xảy ra. Để có một lời giải đầy đủ cho bài toán này, hãy xem bài báo



HÌNH 322 Cách vẽ đường thẳng bằng compa (by Zach Joseph Espiritu).



HÌNH 323 Kết cấu trong xe Chỉ-Nam.

tuyệt vời G. Vareschi & K. Kamiya, *Toy models for the falling chimney*, American Journal of Physics 71, pp. 1025–1031, 2003.



HÌNH 324 Ống khói bằng gạch đang ngã xuống – với độ cứng có giới hạn – có hình chữ V (© John Glaser, Frank Siebner).

Câu đố 448, trang 251: Định nghĩa tích phân cho trong bài là phiên bản đơn giản hoá của *tích phân Riemann*. Đối với các ứng dụng trong thiên nhiên thì tích phân này là đủ dùng. Nếu bạn muốn biết rõ hơn hãy xem định nghĩa chính xác trong sách giáo khoa toán.

Câu đố 454, trang 255: Trong không gian 1 chiều, biểu thức $F = ma$ có thể viết như sau $-\mathrm{d}V/\mathrm{d}x = m\mathrm{d}^2x/\mathrm{d}t^2$. Biểu thức này có thể viết lại là $\mathrm{d}(-V)/\mathrm{d}x - \mathrm{d}/\mathrm{d}t[\mathrm{d}/\mathrm{d}\dot{x}(\frac{1}{2}m\dot{x}^2)] = 0$. Phương trình có thể khai triển thành $\partial/\partial x(\frac{1}{2}m\dot{x}^2 - V(x)) - \mathrm{d}/[\partial/\partial\dot{x}(\frac{1}{2}m\dot{x}^2 - V(x))] = 0$, đó là phương trình Lagrange trong trường hợp này.

Câu đố 456, trang 256: Đừng tuyệt vọng. Cho tới bây giờ, không ai có thể tưởng tượng ra một vũ trụ (không nhất thiết phải giống như 'thế giới') khác với vũ trụ mà ta đang biết. Những nỗ lực như vậy đều dẫn tới một sự không nhất quán về mặt lý luận.

Câu đố 458, trang 256: Hai phương thức này tương đương vì các phương trình chuyển động được suy ra từ nguyên lý tác dụng cực tiểu đồng thời nguyên lý này được suy ra từ các phương trình chuyển động.

Câu đố 460, trang 259: Đối với lực hấp dẫn, 3 hệ đều có: sự quay của thiên hà, áp suất trong hành tinh và áp suất Pauli trong ngôi sao bắt nguồn từ nguyên lý loại trừ Pauli. Với tương tác mạnh, nguyên lý loại trừ tác dụng trong hạt nhân và sao neutron; trong sao neutron có lẽ cũng có chuyển động quay và áp suất bổ sung cho áp suất Pauli. Nhưng với tương tác điện từ không có chất phức hợp nào khác hơn vật chất thông thường của chúng ta, chỉ chịu chi phối của nguyên lý loại trừ Pauli tác dụng giữa các electron.

Quyển IV, trang 136

Câu đố 461, trang 259: Các kết tập thường hình thành do vật chất hội tụ tại một điểm trung tâm. Nếu chỉ có một bất đối xứng nhỏ trong sự hội tụ này – do một số ảnh hưởng bên ngoài – thì kết quả là kết tập sau cùng phải quay.

Câu đố 462, trang 262: Moment động lượng là sự biến đổi theo góc trong khi năng lượng quay là sự biến đổi theo thời gian, như các dạng năng lượng khác.

Câu đố 463, trang 262: Không đúng theo cách lý luận này. Một biến đổi nhỏ có thể gây ra tác dụng lớn, như cái ngắt điện đã cho ta thấy. Nhưng biến đổi nhỏ trong não phải giao tiếp với bên ngoài và điều đó sẽ xảy ra với sự phụ thuộc gần bằng $1/r^2$. Điều đó làm cho tác dụng nhỏ đến nỗi dù có các chuyển mạch nhạy nhất thì cũng không có hiệu ứng nào xảy ra.

Câu đố 465, trang 263: Đây là một câu hỏi sai. $T - U$ không cực tiểu, chỉ có trung bình của nó là cực tiểu.

Câu đố 466, trang 263: Không. Một hệ có khuynh hướng chuyển sang thế cực tiểu chỉ khi nó là hệ tiêu tán. Tuy vậy ta có thể suy ra rằng hệ bảo toàn dao động quanh thế cực tiểu.

Câu đố 467, trang 263: Hệ thức là

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} . \tag{154}$$

Tỉ số tốc độ giữa không khí (hay chân không vì chúng gần như giống nhau) và vật liệu là *chiết suất n*:

$$n = \frac{c_1}{c_0} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_0} \tag{155}$$

Câu đố 468, trang 264: Nguyên lý tăng trưởng của cây chỉ đơn giản là cực tiểu của thế năng vì động năng có thể bỏ qua. Sự tăng trưởng của mạch máu trong cơ thể động vật là cực tiểu hoá năng lượng vận chuyển; đó cũng là nguyên lý cực tiểu. Khúc xạ ánh sáng là đường đi có thời gian ngắn nhất; như vậy nó cũng cực tiểu hoá biến đổi, nếu ta tưởng tượng ánh sáng là các thực thể chuyển động không có chút thế năng nào.

Câu đố 469, trang 264: Thuyết tương đối đặc biệt đòi hỏi tác dụng phải có số đo bất biến. Ta sẽ trình bày vấn đề này sau.

Câu đố 470, trang 264: Vũ trụ không phải là một hệ vật lý. Vấn đề này sẽ được bàn kỹ sau.

Quyển VI, trang 106

Câu đố 471, trang 264: Thay thế $u = \tan t/2$ hay sử dụng công thức cũ kỹ

$$\sec\varphi = \frac{1}{2}\left(\frac{\cos\varphi}{1+\sin\varphi} + \frac{\cos\varphi}{1-\sin\varphi}\right) . \tag{156}$$

Câu đố 472, trang 264: Một người trượt ván trong rãnh cycloid có thời gian dao động độc lập với biên độ dao động. Nhưng một rãnh trượt cần phải có 2 cạnh thẳng đứng để người chơi không bay ra ngoài. Một cycloid không bao giờ có cạnh thẳng đứng.

Câu đố 475, trang 267: Ta nói với một người vì ta biết rằng có người hiểu được ta. Như vậy ta đã giả sử rằng người đó ít nhiều gì cũng thấy những điều giống như ta. Điều đó có nghĩa là quan sát phần nào độc lập với quan điểm. Như vậy thiên nhiên có tính đối xứng.

Câu đố 476, trang 270: Ký ức hoạt động vì ta nhận ra các tình huống. Ta có thể làm được điều này vì các tình huống xảy ra theo thời gian giống nhau. Ký ức không thể tiến hoá nếu không có tính tái hiện.

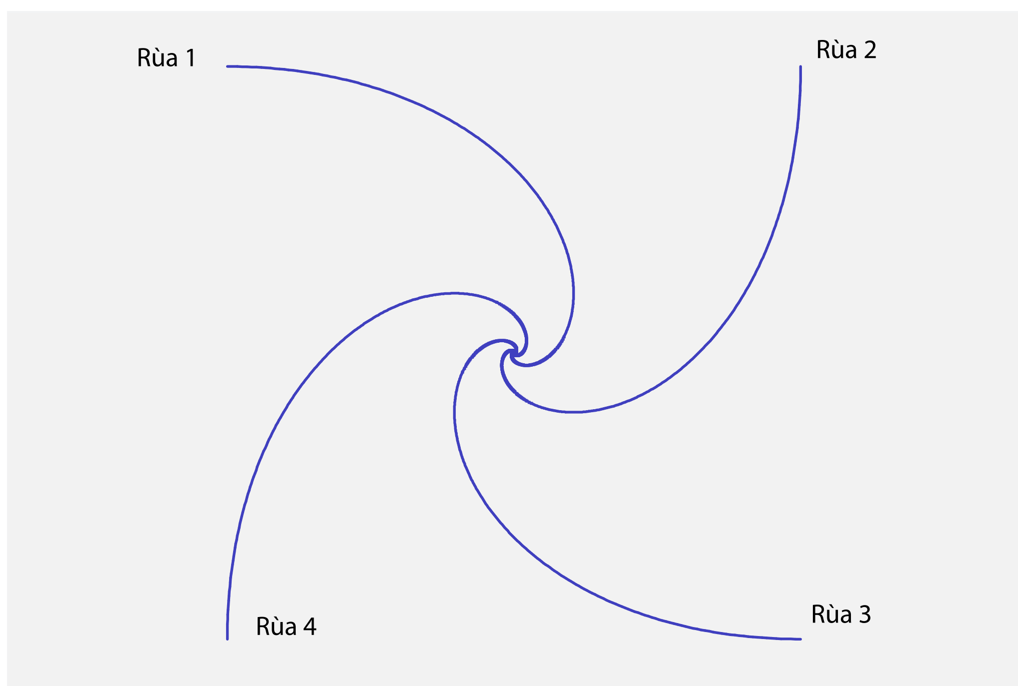
Câu đố 477, trang 271: Sự khác nhau về khẩu vị không phải là cơ bản nhưng bắt nguồn từ các quan điểm khác nhau và – chủ yếu – là từ các kinh nghiệm khác nhau của quan sát viên. Điều tương tự cũng đúng cho cảm giác và phán đoán như các nhà tâm lý học đã chứng minh.

Câu đố 478, trang 273: Các số nguyên cùng với phép cộng tạo thành một nhóm. Tập hợp các bức tranh sơn dầu của một hoạ sĩ với phép pha màu có tạo thành một nhóm hay không?

Câu đố 480, trang 273: Chỉ có một phép toán đối xứng: phép quay một góc gần bằng π quanh điểm trung tâm. Đó là lý do sau này nhóm D_4 chỉ được gọi là nhóm đối xứng gần đúng trong Hình 202.

Câu đố 486, trang 278: Số vô hướng là độ lớn của một vector bất kỳ; như vậy tốc độ, được định nghĩa là $v = |\boldsymbol{v}|$, là một số vô hướng, trong khi vận tốc $\boldsymbol{v}$ thì không. Như vậy chiều dài của một vector (giả-vector), như lực, gia tốc, từ trường hay điện trường là một số vô hướng, trong khi chính vector thì không.

Câu đố 489, trang 278: Sự phân bố điện tích của một vật mở rộng được có thể xem như là tổng của một điện tích điểm, một lưỡng cực điện, một tứ cực điện, một bát cực điện, v.v... Tứ cực được mô tả bằng một tensor.



HÌNH 325 Chuyển động của 4 con rùa đuổi nhau (do Zach Joseph Espiritu vẽ).

Hãy so sánh với: quán tính đối với chuyển động của một vật có thể mở rộng được có thể xem như là tổng của một chất điểm, lưỡng cực, tứ cực, bát cực khối lượng, v.v... Tứ cực khối lượng được mô tả bằng moment quán tính.

Câu đố 493, trang 281: Tích bảo toàn đối với bất biến của phép quay là moment động lượng.

Câu đố 496, trang 286: Ký đồ là *đường xoắn ốc logarithm* (bạn có thể chứng minh điều này không?); nó được minh hoạ trong Hình 325. Khoảng cách đi được cũng dễ tìm.

Câu đố 497, trang 286: Một dao động có một chu kỳ, tức là có tính đối xứng tĩnh tiến thời gian rời rạc. Sóng có cả 2 tính đối xứng tĩnh tiến thời gian và không gian rời rạc.

Câu đố 498, trang 286: Sự đảo chiều chuyển động là một phép đối xứng đối với hệ kín; bất chấp các quan sát trong đời sống hằng ngày, các định luật Nhiệt động lực học và ý kiến của nhiều nhà vật lý nổi tiếng (dù chỉ là một thiểu số) mọi hệ kín lý tưởng đều có tính thuận nghịch.

Câu đố 499, trang 286: Nhóm đối xứng là nhóm Lie và được gọi là U(1), là 'nhóm đơn nguyên 1 chiều'.

Câu đố 500, trang 286: Xem câu đố 301

Câu đố 501, trang 286: Không có vật có tính đối xứng 'hoàn hảo'.

Câu đố 503, trang 286: Đĩa quay số điện thoại có số từ 1 tới 0 trên các góc của một đa giác đều 14 cạnh. Các số chẵn và số lẻ nằm trên các góc của hình thất giác đều.

Câu đố 507, trang 289: Chỉ cần thay $x(t)$ vào Lagrangian $L = 0$, giá trị cực tiểu khả hữu đối với hệ biến đổi tất cả động năng thành thế năng và ngược lại.

Câu đố 516, trang 300: Thế năng bắt nguồn từ 'sự uốn cong' môi trường; một dịch chuyển đơn giản không sinh ra sự uốn cong và như vậy không chứa năng lượng. Chỉ có gradient là nắm bắt được ý tưởng uốn cong.

Câu đố 518, trang 300: Phase thay đổi một góc π.

Câu đố 519, trang 300: Sóng có mang moment động lượng phải là sóng ngang và phải lan truyền trong cả 3 chiều.

Câu đố 520, trang 302: Sóng có thể tắt dần tới cường độ cực nhỏ. Nếu không có điều này thì hiện tượng không phải là sóng.

Câu đố 521, trang 303: Cách quan sát hiện tượng nhiễu xạ và giao thoa bằng ngón tay được nói trong Trang 102 quyển III.

Câu đố 532, trang 314: Sự giao thoa có thể làm cho các tín hiệu vô tuyến khó hiểu. Do hiện tượng nhiễu xạ, các sóng vô tuyến bị yếu đi sau một bức tường; điều này đặc biệt đúng đối với sóng ngắn, như sóng trong mobile phone. Hiện tượng khúc xạ khiến cho ta không thể liên lạc bằng vô tuyến với tàu ngầm bằng sóng có tần số vô tuyến thông thường. Hiện tượng tán sắc trong sợi thuỷ tinh khiến cho ta cần phải thêm các bộ chuyển tiếp trong các sợi cáp dưới biển mỗi 100 km. Hiện tượng tắt dần khiến cho ta không thể nghe người ở xa nói. Tín hiệu vô tuyến có thể mất phân cực và như vậy sẽ trở nên khó phát hiện bằng antenne Yagi thông thường là antenne có sự phân cực cố định.

Câu đố 534, trang 319: Những người trượt tuyết cào tuyết từ phía thấp của một ụ lên phía cao của ụ kế trên. Việc này gây ra sự chuyển động ngược lên trên của các ụ tuyết.

Câu đố 535, trang 319: Nếu khoảng cách tới loa là vài m và khoảng cách tới dàn nhạc là 20 m, đối với những người có tiền, người nghe ở nhà sẽ nghe thấy trước.

Câu đố 536, trang 319: Nếu biên độ nhỏ so với chiều dài l, chu kỳ T sẽ là

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \ . \tag{157}$$

Công thức này không chứa khối lượng m. Con lắc có chu kỳ không đổi, độc lập với m. Đặc biệt, khi chiều dài là 1 m, chu kỳ khoảng 2 s. Nửa chu kỳ sẽ mất 1 s. (Đây là lý do nguyên thuỷ của việc chọn đơn vị m.) Đối với con lắc rất dài, đáp số vẫn là hữu hạn và tương ứng với trường hợp của câu đố 26.

Câu đố 537, trang 319: Một cách tổng quát, vật chuyển động theo một ellipse (giống các hành tinh quanh Mặt trời) nhưng điểm cố định sẽ là tâm. Khác với hành tinh, Mặt trời là một *tiêu điểm* của ellipse và có một điểm cận nhật và một điểm viễn nhật, một vật như vậy sẽ chuyển động *đối xứng* quanh *tâm* của ellipse. Trong trường hợp đặc biệt, vật chuyển động qua lại trên một đường thẳng.

Câu đố 539, trang 320: Điều này được suy ra từ công thức tần số của một sợi dây $f = \sqrt{T/\mu}/(2l)$, trong đó T là sức căng, μ là mật độ khối lượng dài và l là chiều dài sợi dây. Điều này được bàn luận trong bài báo phong nhã của G. Barnes, *Physics and size in biological systems*, The Physics Teacher **27**, pp. 234–253, 1989.

Câu đố 541, trang 320: Tiếng sấm hay tiếng còi xe sẽ càng lúc càng trầm khi khoảng cách càng xa.

Câu đố 544, trang 321: Không thuộc loại nào; cả hai khả năng đều mâu thuẫn với tính chất của nước: trong sóng mặt, các phân tử nước chuyển động theo các vòng tròn.

Câu đố 545, trang 321: Người bơi có thể vượt qua 100 m trong 48 s, tức là hơi lớn hơn 2 m/s. (Người bơi có chân vịt có thể lên tới 3 m/s.) Với chiều dài cơ thể khoảng 1.9 m, tốc độ tới hạn là: 1.7 m/s. Đó là lý do bơi ở cự ly ngắn sẽ phụ thuộc sự huấn luyện; đối với cự ly dài kỹ thuật đóng vai trò quan trọng hơn, vì ta chưa đạt tới tốc độ giới hạn. Công thức này cũng tiên đoán rằng ở cự ly 1500 m, một người cao 2 m có lợi thế hơn 45 s so với một người cao 1.8 m. Hơn nữa, người bơi cao hơn còn có thêm một lợi thế phụ: họ bơi một khoảng ngắn hơn trong hồ bơi (Tại sao?). Vì vậy người ta tiên đoán rằng những tay bơi đường dài thành công sẽ càng ngày càng cao hơn.

Cho tới nay, đây là một điều đáng tiếc đối với một môn thể thao được cho là có các nhà vô địch có đủ mọi kích thước và hình dạng khác với nhiều môn thể thao khác.

Câu đố 548, trang 323: Để làm giảm sự phản xạ âm và các hiệu ứng hội trường. Chúng khuếch tán một cách hiệu quả các mặt sóng tới.

Câu đố 550, trang 324: Sóng ở sông không bao giờ có hình ellpise; chúng vẫn là sóng tròn.

Câu đố 551, trang 324: Thấu kính là một cái gối bằng vật liệu 'trong suốt' đối với âm. Tốc độ của âm trong gối nhanh hơn trong không khí, khác với thấu kính thuỷ tinh, tốc độ của ánh sáng trong thuỷ tinh chậm hơn. Như vậy hình dạng sẽ khác nhau: gối phải trông giống như một thấu kính quang học hai mặt lõm lớn.

Câu đố 552, trang 324: Thí nghiệm chứng tỏ rằng âm không phụ thuộc dòng không khí (hãy tìm hiểu xem tại sao) mà phụ thuộc vào âm ở bên ngoài. Âm này bắt nguồn từ sự khuếch đại có lọc lựa bởi sự cộng hưởng do tính chất hình học của vỏ sò.

Câu đố 553, trang 324: Mặt trời luôn luôn ở các vị trí khác vị trí mà ta thấy nó. Nếu đo theo đường kính góc của Mặt trời thì sự khác biệt là gì? Dù có sự khác biệt về vị trí này, ta xác định giờ Mặt trời mọc bằng vị trí của chân trời chứ không bằng vị trí của Mặt trời. (Hãy tưởng tượng nếu không như vậy thì trong trường hợp đó, phòng sẽ không tối khi ta đóng cửa sổ nhưng 8 phút sau đó thì ...) Tóm lại, tốc độ ánh sáng không có ảnh hưởng rõ ràng lên hiện tượng Mặt trời mọc.

Câu đố 556, trang 325: Một tổng quan về các hệ thống này đã được thử nghiệm có thể tìm được trong K. -U. Graw, *Energiereservoir Ozean*, Physik in unserer Zeit **33**, pp. 82–88, Februar 2002. See also *Oceans of electricity – new technologies convert the motion of waves into watts*, Science News **159**, pp. 234–236, April 2001.

Câu đố 557, trang 326: Trong đời sống thông thường, điều giả sử này thường hợp lý vì mỗi điểm có thể biểu diễn một cách gần đúng bằng 1 nguyên tử và ta có thể theo dõi từng nguyên tử. Giả sử trở nên đáng ngờ trong các trường hợp như sự nhiễu loạn, nơi không phải mọi điểm đều có thể gán cho 1 nguyên tử, và nhất là trong trường hợp chuyển động của chân không. Nói cách khác, đối với sóng hấp dẫn, và đặc biệt là đối với Thuyết lượng tử của sóng hấp dẫn, giả sử này không hợp lý.

Câu đố 563, trang 332: Có nhiều thí nghiệm. Một thí nghiệm đó là hệ số truyền qua và hệ số phản xạ của sóng gần như độc lập với bước sóng.

Câu đố 564, trang 333: Một giọt đường kính 3 mm sẽ phủ một bề mặt 7.1 m^2 với một màng mỏng dày 2 nm.

Câu đố 565, trang 337: Gió sẽ làm gãy cây cao mà quá ốm. Đối với cây nhỏ, ốm, gió không gây tổn hại.

Câu đố 566, trang 337: Chiều cao tới hạn của một cột vật liệu được tính theo công thức $h^4_{\text{crit}} = \frac{\beta}{4\pi g} m \frac{E}{\rho^2}$, trong đó $\beta \approx 1.9$ là hằng số được xác định bằng tính toán khi cột bị biến dạng do trọng lượng của chính nó.

Câu đố 568, trang 338: Một khả năng là mô tả các hạt như các đám mây; một cách khác sẽ được cho trong phần cuối của quyển sách.

Xem 257 **Câu đố** 569, trang 340: Kết quả nằm trong khoảng từ 1 đến $8 \cdot 10^{23}$.

Câu đố 571, trang 344: Hãy kiểm tra câu trả lời bằng quyển sách thú vị của P. Goldrich, S. Mahajan & S. Phinney, *Order-of-Magnitude Physics: Understanding the World with Dimensional Analysis, Educated Guesswork, and White Lies*, có trên Internet.

Câu đố 572, trang 345: Thuỷ tinh vỡ vụn, đàn hồi, truyền được sóng âm ngang, không chảy (khác với điều nhiều sách đã nói) cho dù trải qua nhiều thế kỷ, các phân tử cố định trong không gian, thuỷ tinh là tinh thể trong phạm vi nhỏ, một tấm thuỷ tinh được đỡ ở các đầu không thể rũ xuống.

Câu đố 573, trang 345: Ta không thể dùng loại kim loại nào để chế tạo ra một sợi dây dài như vậy. Chỉ có ống nano carbon là có hy vọng; người ta đã mơ đến việc dùng chúng để tạo ra vật liệu làm dây, bền chắc hơn mọi vật liệu mà ta đã biết. Tuy nhiên vật liệu như vậy vẫn chưa có. Hệ thống này phải đối diện với nhiều nguy cơ như các sai hỏng khi chế tạo, sấm sét, mưa bão, thiên thạch và các mảnh vụn trong không gian khác. Tất cả sẽ làm cho dây bị đứt – nếu có dây như vậy. Nhưng mối hiểm nguy lớn nhất là thiếu kinh phí xây dựng. Tuy vậy vẫn còn nhiều người nỗ lực cho mục tiêu này.

Câu đố 574, trang 345: Khối 3×3×3 có một hệ thống rắn gồm 3 trục trực giao với nhau, trên đó là các khối vuông nhỏ có thể quay tròn trên 6 đầu trục. Các khối nhỏ khác được gắn vào các mảnh có thể chuyển động quanh các trục này. Khối 4×4×4 thì khác; bạn hãy tự khám phá. Từ 7×7×7 trở đi, các phần không có kích thước hay hình dạng như nhau. Giới hạn của số phần trong các 'khối' được bán ra thị trường là 17 × 17 × 17! Ta có thể tìm thấy chúng tại trang www.shapeways.com/shops/oskarpuzzles. Website www.oinkleburger.com/Cube/applet cho ta chơi với các khối vuông ảo 100 × 100 × 100 và nhiều hơn nữa.

Câu đố 577, trang 346: Một trận động đất cỡ trung bình sẽ được tạo ra.

Câu đố 578, trang 347: Thạch nhũ có các dòng nước chảy xuyên qua các kênh nhỏ dọc theo trục của nó trong khi măng đá là một khối đặc.

Câu đố 579, trang 347: Khoảng 1/1000.

Câu đố 580, trang 348: Mặc dù lõi sắt của Trái đất được hình thành bằng cách thu thập sắt từ các thiên thạch chìm xuống tâm Trái đất, sơ đồ này sẽ không hoạt động được: khi mới thành lập, Trái đất lỏng hơn bây giờ. Sắt sẽ không có khả năng chìm xuống. Ngoài ra, không có cách nào tạo ra một đầu đo gởi các sóng âm đủ mạnh trong sơ đồ này. Sự cản trở do nhiệt độ cũng là một vấn đề nhưng điều này có thể giải quyết được.

Câu đố 582, trang 350: Các nguyên tử không cứng vô hạn như Thuyết lượng tử đã chứng minh. Nguyên tử giống như một đám mây biến dạng được.

Quyển IV, trang 81

Câu đố 585, trang 359: Nếu không có ma sát, 3 phương pháp nhanh như nhau – kể cả cách bên phải.

Câu đố 588, trang 361: Hằng số k suy ra từ sự bảo toàn năng lượng và khối lượng:

$$k = \sqrt{\frac{2}{\rho(A_1^2/A_2^2 - 1)}} \,. \qquad (158)$$

Các thiết diện ngang được ký hiệu là A và chỉ số 1 chỉ nơi xa chỗ thu hẹp, chỉ số 2 là nơi thu hẹp.

Câu đố 591, trang 368: Áp suất sẽ phá huỷ phổi. Vòi hơi chỉ có thể dùng ở mặt nước chứ không dùng dưới nước! Thí nghiệm này nguy hiểm kể cả khi bạn thử làm trong bồn tắm! Ta chỉ có thể hô hấp bằng một ống dài nếu có một máy bơm trên mặt nước bơm không khí có áp suất thích hợp vào ống.

Câu đố 593, trang 369: Một số người khi thấy rằng trong một số trường hợp ma sát rất lớn và bắt đầu hút ở một đầu ống để cho xăng chảy; trong khi làm như vậy, họ có thể hít hay nuốt xăng, là một chất độc.

Câu đố 598, trang 371: Việc tính toán cho kết quả $N = J/j = (0.0001\,\mathrm{m^3/s})/(7\,\mu\mathrm{m}^2 0.0005\,\mathrm{m/s})$, hay khoảng $6 \cdot 10^9$; trong thực tế, con số này lớn hơn, vì đa số mao quản đóng lại tại thời điểm đã cho. Sự đỏ mặt cho ta thấy những điều xảy ra khi mọi mạch máu nhỏ mở ra đồng thời.

Câu đố 599, trang 371: Ném hòn đá làm mực nước hạ xuống, nước và gỗ thì mực nước không đổi.

Câu đố 600, trang 371: Tàu nổi lên cao hơn. (Tại sao?)

Câu đố 602, trang 372: Chuyển động của quả bóng helium ngược chiều với chuyển động của quả bóng không khí hay của người: bóng helium chuyển động về phía trước khi xe tăng tốc và lùi lại khi xe giảm tốc. Trong đường vòng nó cũng hành xử khác. Nhiều film trên internet sẽ cho ta thấy rõ hơn.

Câu đố 605, trang 372: Bơm hoạt động nhờ sức hút; nhưng áp suất không khí chỉ cho phép hiệu 2 độ cao là 10 m đối với các hệ như vậy.

Câu đố 606, trang 372: Lập luận này chỉ có thể hiểu được khi ta nhớ rằng 'số lượng gấp đôi' có nghĩa là 'số phân tử nhiều gấp đôi'.

Câu đố 607, trang 372: Rượu được đông lạnh và ta bao chocolate quanh nó.

Câu đố 608, trang 372: Tác giả đã đề nghị trong phiên bản cũ của quyển sách này là máy nên dựa trên các máy phóng chim câu đất được sử dụng trong môn thể thao bắn đĩa và chim câu đất. Trong thời gian đó, Lydéric Bocquet và Christophe Clanet đã chế tạo một cái máy ném đá như vậy nhưng sử dụng một thiết kế khác; ta có thể tìm thấy hình của nó ở website ilm-perso.univ-lyon1.fr/~lbocquet.

Câu đố 609, trang 373: Thành phần thứ 3 của *không khí* là khí hiếm argon, khoảng 1 %. Một danh sách dài các thành phần được cho trong Bảng 62.

Câu đố 610, trang 373: *Khoang màng phổi* giữa phổi và ngực, có áp suất nhỏ hơn áp suất khí quyển, thường là 5 mbar, nhưng có thể là 10 mbar khi ta hít vào. Một cái lỗ do đạn, kiếm hay tai nạn gây ra sẽ làm cho phổi bị xẹp xuống – *Chứng tràn khí phế mạc* – thường gây ra cái chết. Người ta chỉ có thể thực hiện phẫu thuật mở lồng ngực chỉ sau khi bác sĩ Ferdinand Sauerbruch biết cách giải quyết vấn đề này vào năm 1904. Tuy vậy, ngày nay các nhà phẫu thuật sẽ giữ cho phổi dưới áp suất *cao hơn* áp suất khí quyển cho tới khi mọi việc hoàn tất.

Câu đố 611, trang 373: Vòi phun trong hình sẽ bắt đầu hoạt động khi ta đổ nước vào bình trên cao. Như vậy vòi phun này sử dụng áp suất không khí do dòng nước chảy xuống tạo ra.

Câu đố 612, trang 373: Được. Mặc dù vậy bóng đèn không chịu nổi 2 xe.

Câu đố 613, trang 373: Radon nặng gấp 8 lần không khí; nó là chất khí có mật độ lớn nhất mà ta đã biết. Để so sánh thì Ni(CO) gấp 6 lần, $SiCl_4$ gấp 4 lần. Hơi thuỷ ngân (dĩ nhiên cũng là chất khí) nặng hơn không khí 7 lần. Để so sánh thì brome gấp 5.5 lần.

Câu đố 615, trang 374: Được, như *chiếc xe chạy bằng sức gió* mà ta thấy trong Hình 326. Nó đã thực hiện được kỳ công này khi tốc độ gió nhỏ.

Câu đố 616, trang 375: 0.

Câu đố 618, trang 375: Ông mang các sợi dây vào cabin bằng cách cho chúng đi xuyên qua thuỷ ngân.

Câu đố 620, trang 375: Không có lời giải chính thức cho các câu hỏi này; bạn chỉ cần kiểm tra kỹ các giả thuyết và các tính toán. Internet có đầy những phép tính như vậy.

Câu đố 621, trang 375: Xà bông chảy xuống khiến cho đáy màng bong bóng dày lên ở phía đáy và phía trên thì mỏng đi cho đến khi chiều dày chỉ còn những lớp có 2 phân tử. Sau đó thì nó vỡ tan.

Câu đố 622, trang 375: Nhiệt độ khiến cho chất lỏng liên quan hoá hơi và hơi chất lỏng ngăn hai vật tiếp xúc trực tiếp.

Câu đố 623, trang 376: Vì nếu điều này xảy ra, sẽ có ma sát ở kích cỡ vi mô và năng lượng sẽ phải biến mất.

Câu đố 624, trang 377: Phễu dài hơn sẽ rỗng trước phễu ngắn. (Nếu bạn không tin hãy làm thử xem.) Trong trường hợp mà lượng nước trong ống thoát có thể bỏ qua, ta có thể sử dụng sự bảo toàn năng lượng đối với chuyển động của chất lỏng. Ta có thể áp dụng phương trình nổi tiếng của Bernoulli $p/\rho + gh + v^2/2 = \text{const}$, trong đó p là áp suất, ρ là mật độ nước và g bằng

BẢNG 62 Thành phần khí trong không khí khô, trong thời gian hiện tại[a] (Nguồn: NASA, IPCC).

Khí	Ký hiệu	Tỷ lệ thể tích[b]
Nitrogen	N_2	78.084 %
Oxygen (tuỳ theo độ ô nhiễm)	O_2	20.946 %
Argon	Ar	0.934 %
Carbon dioxide (phần lớn từ ô nhiễm do con người gây ra)	CO_2	403 ppm
Neon	Ne	18.18 ppm
Helium	He	5.24 ppm
Methane (hầu hết từ ô nhiễm do con người gây ra)	CH_4	1.79 ppm
Krypton	Kr	1.14 ppm
Hydrogen	H_2	0.55 ppm
Nitrous oxide (hầu hết từ ô nhiễm do con người gây ra)	N_2O	0.3 ppm
Carbon monoxide (một phần từ ô nhiễm do con người gây ra)	CO	0.1 ppm
Xenon	Xe	0.087 ppm
Ozone (bị ảnh hưởng nặng nề từ ô nhiễm do con người)	O_3	0 tới 0.07 ppm
Nitrogen dioxide (hầu hết từ ô nhiễm do con người gây ra)	NO_2	0.02 ppm
Iodine	I_2	0.01 ppm
Ammonia (hầu hết từ ô nhiễm do con người gây ra)	NH_3	vết
Radon	Ra	vết
Halocarbon và các hợp chất fluor khác (tất cả là chất gây ô nhiễm do con người tạo ra)	20 loại	0.0012 ppm
Thuỷ ngân, kim loại khác, hợp chất sulfur, hợp chất hữu cơ khác (tất cả là chất gây ô nhiễm do con người tạo ra)	nhiều loại	nồng độ thay đổi

a. Không khí *ướt* có thể chứa tới 4 % hơi nước, tuỳ theo thời tiết. *Ngoài các chất khí,* không khí có thể chứa các giọt nước, nước đá, cát, bụi, phấn hoa, bào tử, tro núi lửa, tro các đám cháy rừng, tro nhiên liệu bị đốt cháy, các hạt khói, chất ô nhiễm các loại, vẫn thạch và các hạt của tia vũ trụ. *Trong lịch sử của Trái đất,* thành phần khí thay đổi rất nhiều. Đặc biệt, oxygen chỉ là một phần của khí quyển trong nửa phần sau của thời gian sống của Trái đất.
b. ppm(parts per million) có nghĩa là 'phần triệu'.

9.81 m/s^2. Do đó, tốc độ v sẽ cao hơn khi chiều dài h của phần ống thẳng lớn hơn: nước trong phễu dài sẽ hết trước.

Nhưng đây là một điều kỳ lạ: công thức này sẽ thành hệ thức rơi tự do đơn giản, khi áp suất *không khí* trên và dưới giống nhau và biến mất khỏi phép tính. Biểu thức của tốc độ sẽ độc lập với việc có hay không có ống. Lý do thực sự của việc chảy hết nhanh là ống đẩy nhiều nước chảy ra ngoài hơn khi không có ống. Không có ống, đường kính của dòng nước *nhỏ lại* trong khi rơi. Khi có ống, nó *không đổi*. Sự khác biệt này khiến cho nước trong ống dài chảy ra nhanh hơn.

Ngoài ra, bạn có thể nhìn vào áp suất *nước bên trong* phễu. Bạn sẽ khám phá ra là áp suất nước sẽ nhỏ nhất tại nơi bắt đầu của ống thoát. Áp suất nội này càng nhỏ khi ống càng dài và nó hút nước ra nhanh hơn.



HÌNH 326 Một phương thức lái xe chạy ngược gió bằng cách sử dụng sức gió (© Tobias Klaus).

Câu đố 625, trang 377: Mắt của cá được định vị sao cho sự giảm áp suất của dòng bù trừ với sự tăng áp suất bên trong ổ mắt. Ngoài ra, tim của chúng được định vị sao cho chúng chịu được sự giảm áp.

Câu đố 627, trang 377: Người ta đã đạt được kỳ công này đối với những ngọn núi thấp hơn, như Monte Blanc trong dãy núi Alps. Tuy vậy hiện nay không thể nào bay lượn an toàn trên các đỉnh núi của Himalaya được.

Câu đố 629, trang 377: Nhấn khăn tay vào trong chiếc ly rồi đặt ly vào trong nước miệng ly úp xuống, trong khi giữ cho miệng ly nằm ngang. Phương pháp này cũng có thể sử dụng để đưa người xuống biển. Một quả bóng bằng giấy ở trong một cái chai sẽ bay về phía bạn. Việc thổi vào một cái phễu sẽ làm cho quả bóng bàn được giữ chặt tại một nơi và càng bị giữ chặt hơn khi bạn thổi càng mạnh. Thổi xuyên qua 1 cái phễu hướng về một ngọn nến sẽ làm cho ngọn lửa nghiêng về phía bạn.

Câu đố 636, trang 387: Trong 5 tỷ năm, quá trình hiện nay sẽ ngừng lại, Mặt trời sẽ trở thành một sao kềnh đỏ. Nhưng nó sẽ còn cháy trong nhiều năm nữa.

Câu đố 637, trang 389: Bernoulli lý luận rằng nhiệt độ mô tả động năng trung bình của các hạt của chất khí. Từ động năng ông suy ra động lượng trung bình của các hạt. Động lượng trung bình dẫn tới áp suất. Thêm vào một vài chi tiết ta sẽ được hệ thức khí lý tưởng.

Câu đố 638, trang 389: Câu trả lời phụ thuộc kích thước của các quả bóng, vì áp suất không phải là một hàm đơn điệu của kích thước. Nếu quả bóng nhỏ hơn không quá nhỏ, nó sẽ thắng.

Câu đố 641, trang 390: Đo diện tích tiếp xúc giữa lốp xe và mặt đường (cả 4 bánh) rồi nhân cho 200 kPa, áp suất thông thường trong bánh xe. Bạn sẽ kiếm được trọng lượng của xe hơi.

Câu đố 645, trang 394: Nếu trung bình của bình phương độ dời tỷ lệ với thời gian thì chất lỏng được tạo thành từ các hạt nhỏ nhất. Điều này được chứng minh bằng thí nghiệm của Jean Perrin. Bước kế tiếp là suy ra số hạt này từ hằng số tỷ lệ. Hằng số này được xác định nhờ công thức $\langle d^2 \rangle = 4Dt$, được gọi là hằng số khuếch tán (thừa số 4 chỉ đúng đối với chuyển động ngẫu nhiên 2 chiều). Hằng số khuếch tán có thể xác định nhờ sự quan sát chuyển động của hạt dưới kính hiển vi.

Ta xét một hạt Brown có bán kính a. Trong trường hợp 2 chiều, bình phương độ dời của nó được cho bởi công thức

$$\langle d^2 =\rangle \frac{4kT}{\mu} t \ , \qquad (159)$$

trong đó k là hằng số Boltzmann và T là nhiệt độ. Hệ thức này được suy ra bằng cách nghiên cứu chuyển động của 1 hạt với lực cản $-\mu v$ do các va chạm ngẫu nhiên. Hệ số lực cản tuyến tính μ của một hình cầu bán kính a là

$$\mu = 6\pi\eta a \ , \qquad (160)$$

trong đó η là độ nhớt động. Nói cách khác, ta có

$$k = \frac{6\pi\eta a}{4T} \frac{\langle d^2 \rangle}{t} \ . \qquad (161)$$

Mọi đại lượng ở vế phải đều đo được nên ta có thể xác định được hằng số Boltzmann k. Vì hệ thức khí lý tưởng chứng tỏ rằng hằng số khí lý tưởng R liên hệ với hằng số Boltzmann qua công thức $R = N_A k$, nên số Avogadro N_A là số phân tử trong 1 mole cũng được tìm ra theo cách này.

Câu đố 650, trang 401: Khả năng đảo ngược chuyển động đối với mọi hiện tượng được quan sát thực ra là một tính chất cơ bản của thiên nhiên. Nó đã được khẳng định đối với mọi tương tác và mọi thí nghiệm đã được thực hiện. Độc lập với điều này là việc thực hiện sự đảo ngược có lẽ cực kỳ khó vì đảo ngược chuyển động của nhiều nguyên tử thường không khả thi.

Câu đố 651, trang 402: Đây là một câu hỏi mẹo. Với một xấp xỉ khá tốt, một hộp kín bất kỳ là một thí dụ. Tuy vậy, nếu ta yêu cầu chính xác hoàn toàn, mọi hệ đều bức xạ năng lượng, thả ra một số nguyên tử hay hạt và uốn cong không gian; *không có* hệ kín *lý tưởng*.

Câu đố 656, trang 404: Sau này ta sẽ khám phá ra là vũ trụ không phải là một hệ vật lý; như vậy khái niệm entropy không thể áp dụng cho nó. Vũ trụ không cô lập cũng không kín.

Quyển VI, trang 106
Câu đố 658, trang 406: Lòng trắng trứng bắt đầu cứng ở nhiệt độ thấp hơn lòng đỏ nhưng để cho cứng hoàn toàn, thì điều ngược lại mới đúng. Lòng trắng cứng *hoàn toàn* ở 80 °C, lòng đỏ khá cứng ở nhiệt độ từ 66 tới 68 °C. Hãy luộc trứng ở nhiệt độ sau và ta lập được kỳ công; lòng trắng còn lỏng nhưng không còn trong suốt. Chú ý là thời gian không có vai trò gì, chỉ cần nhiệt độ chính xác.

Câu đố 660, trang 406: Đúng, hiện tượng này rất dễ nhận ra.

Câu đố 663, trang 406: Không khí nóng có mật độ nhỏ hơn nên có khuynh hướng bay lên.

Câu đố 664, trang 406: Giữ cho giấy ướt.

Câu đố 665, trang 406: Nước đá nóng chảy thành nước ở 0°C cần 334 kJ/kg. Làm lạnh nước đi 1°C hay 1 K cần 4.186 kJ/kgK. Nước nóng cần lạnh xuống tới 20.2°C để làm tan nước đá, nên nhiệt độ sau cùng của hỗn hợp là 10.1°C.

Câu đố 666, trang 407: Không khí phải khô.

Câu đố 667, trang 407: Nói chung, ta không thể vẽ một đường thẳng qua 3 điểm. Vì độ không tuyệt đối và điểm 3 của nước có độ lớn cố định, thực tế ta có thể khẳng định là điểm sôi không đúng ở 100°C.

Câu đố 668, trang 407: Không, vì một phân tử nước nặng hơn thế. Tuy nhiên nếu nước không sạch thì điều đó có thể làm được. Điều gì sẽ xảy ra nếu ta tính tới lượng tử tác dụng?

Câu đố 669, trang 407: Sự nguy hiểm không do năng lượng mà do thời gian mà nó sẵn sàng để sử dụng.

Câu đố 670, trang 408: Internet có rất nhiều lời giải.

Câu đố 671, trang 408: Có 2^n dãy khả hữu của n lần ném đồng xu. Trong đó, $n!/(\frac{n}{2}!)^2$ chứa $n/2$ lần ngửa và $n/2$ xấp. Đối với một đồng xu bình thường, xác suất p để được $n/2$ lần ngửa trong n lần tung là

$$p = \frac{n!}{2^n \left(\frac{n}{2}!\right)^2} . \tag{162}$$

Ta tính gần đúng kết quả này nhờ công thức Gosper $n! \approx \sqrt{(2n+\frac{1}{3})\pi}\,(\frac{n}{e})^n$ và kiếm được

$$p \approx \frac{\sqrt{(2n+\frac{1}{3})\pi}\,(\frac{n}{e})^n}{2^n\left(\sqrt{(n+\frac{1}{3})\pi}\,(\frac{n}{2e})^{\frac{n}{2}}\right)^2} = \frac{\sqrt{2n+\frac{1}{3}}}{(n+\frac{1}{3})\sqrt{\pi}} . \tag{163}$$

Cho $n = 1\,000\,000$, ta kiếm được xác suất $p \approx 0.0007979$, hơi nhỏ hơn giá trị giữa $\frac{1}{1254}$ và $\frac{1}{1253}$.

Câu đố 672, trang 408: Ta có thể định nghĩa entropy cho toàn thể vũ trụ nếu vũ trụ là một hệ kín. Nhưng vũ trụ có kín không? Nó có là một hệ không? Vấn đề này sẽ được bàn luận trong phần cuối của cuộc thám hiểm.

Câu đố 675, trang 409: Đối với những động vật nhỏ như vậy nhiệt độ cơ thể phải rất thấp. Chúng không thể ăn đủ nhanh để có đủ năng lượng cần thiết giữ cho cơ thể của chúng ấm.

Câu đố 678, trang 409: Câu trả lời dĩ nhiên phụ thuộc thể tích. Nhưng nhiều gia đình qua 1 đêm đã qua đời vì họ đã điều chỉnh cho ngôi nhà di động của họ trở nên kín mít.

Câu đố 679, trang 409: Muối kim loại trong tro hoạt động như chất xúc tác và đường cháy thay vì chảy ra. Hãy xem video của thí nghiệm tại www.youtube.com/watch?v=BfBgAaeaVgk.

Câu đố 684, trang 410: Nó vào khoảng 10^{-9} mật độ khí quyển Trái đất.

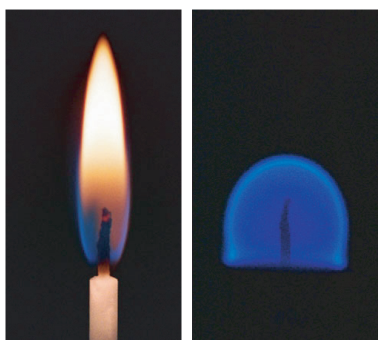
Câu đố 686, trang 410: Bề dày của các nếp gấp trong não, các bong bóng trong phổi, mật độ mạch máu và kích thước của tế bào sinh học.

Câu đố 687, trang 410: Hơi thuỷ ngân trên chất lỏng trở nên bão hoà.

Câu đố 688, trang 410: Một dự án dành riêng của NASA đã nghiên cứu câu hỏi này. Hình 327 cho ta sự so sánh. Bạn có thể tìm hiểu thêm trên website của cơ quan này.

Câu đố 689, trang 411: Rủi ro do các cơn bão và rủi ro tài chính đều rất cao.

Câu đố 690, trang 411: Cuộn xoáy bên trong ống thì lạnh ở trục của nó và nóng ở chung quanh trục. Khi đi xuyên qua màng ở giữa ống (như ta thấy trong Hình 285 ở Trang 411) không khí từ miền trục được gởi tới một đầu và không khí vùng ngoài trục đi tới đầu còn lại. Sự nung nóng



HÌNH 327 Ngọn nến trên Trái đất và trong tình trạng vi trọng lực (NASA).

của vùng ngoài bắt nguồn từ công do không khí quay bên trong phải thực hiện trên không khí bên ngoài để kiếm được một chuyển động quay tiêu thụ moment động lượng. Để có sự giải thích chi tiết, bạn hãy đọc quyển sách rất hay của Mark P. Silverman, *And Yet it Moves: Strange Systems and Subtle Questions in Physics*, Cambridge University Press, 1993, p. 221.

Câu đố 691, trang 411: Không.

Câu đố 692, trang 411: Khi mật độ khối lượng khả hữu lớn nhất, entropy cũng có giá trị khả hữu lớn nhất.

Câu đố 693, trang 411: Các đơn vị không khớp.

Câu đố 694, trang 412: Trong trường hợp nước, vài vòng quay đã trộn nước với mực và quay ngược lại còn làm tăng thêm sự trộn lẫn. Trong trường hợp glycerine, quay vài vòng thì *hình như* nó trộn với mực nhưng quay ngược lại sẽ đảo ngược sự pha trộn đó.

Câu đố 695, trang 412: Đặt chúng vào trong quần áo.

Câu đố 699, trang 412: Nhiệt độ âm là một chỗ dựa có tính khái niệm, chỉ có thể định nghĩa được đối với các hệ có vài trạng thái rời rạc; chúng không phải là nhiệt độ thật, vì chúng không mô tả các trạng thái cân bằng và thật ra ta không bao giờ áp dụng cho các hệ có các trạng thái liên tục.

Câu đố 700, trang 414: Điều này cũng đúng đối với hình dạng cơ thể người, việc não bộ điều khiển chuyển động của con người, sự tăng trưởng của hoa, sóng biển, sự hình thành của mây, các quá trình làm cho núi lửa phun, v.v...

Trang 319 **Câu đố 703**, trang 421: Xem câu đố về chuyển động của mô tuyết trong môn trượt tuyết.

Câu đố 708, trang 425: Đầu tiên, có nhiều bướm hơn bão tố. Thứ hai, bão tố xuất hiện không dựa trên các nhiễu loạn ban đầu nhỏ. Thứ ba, những người tin vào 'hiệu ứng' cánh bướm đã hoàn toàn bỏ qua một phương diện của thiên nhiên được xem là cốt yếu đối với sự tự tổ chức: ma sát và sự tiêu tán. 'Hiệu ứng' cánh bướm, mà ta đã giả sử rằng nó hiện hữu, sẽ đòi hỏi sự tiêu tán trong không khí phải có những đặc điểm hoàn toàn phi thực tế. Điều này không đúng đối với khí quyển. Nhưng quan trọng nhất là 'hiệu ứng' này không có một nền tảng thực nghiệm nào: ta chưa bao giờ thấy nó. Vậy nó không thể hiện hữu.

Câu đố 717, trang 435: Không. Thiên nhiên không cho phép có độ chính xác nhiều hơn 20 chữ số như sau này ta sẽ biết. Số đó không đủ cho một quyển sách tiêu chuẩn. Câu hỏi, một số như vậy có thể là một phần của quyển sách của riêng nó hay không, sẽ biến mất.

Câu đố 718, trang 436: Cả ba phát biểu này đều nhảm nhí. Hệ số lực cản đã hàm ý rằng thiết diện ngang của xe được xác định với cùng một độ chính xác. Con số này thật sự rất khó đo và giữ cho nó không đổi. Đúng ra giá trị 0.375 của xe Ford Escort là một sự lừa đảo, như nhiều phép đo khác đã chứng tỏ. Mức tiêu thụ nhiên liệu còn buồn cười hơn, vì nó hàm ý rằng thể tích nhiên

liệu và khoảng cách có thể đo với cùng một độ chính xác. Việc thăm dò ý kiến được thực hiện bằng cách gọi điện thoại cho nhiều nhất là 2000 người; do các trở ngại trong việc lựa chọn mẫu đại diện đúng, việc thăm dò chỉ có độ chính xác nhiều nhất là 3 % trong các quốc gia điển hình.

Câu đố 719, trang 438: Không-thời gian được định nghĩa bằng cách dùng vật chất; vật chất được định nghĩa bằng cách dùng không-thời gian.

Câu đố 720, trang 438: Sự thật là Vật lý đã đặt nền tảng trên một định nghĩa lòng vòng trong hàng trăm năm. Như vậy ta có thể xây dựng ngay cả một khoa học chính xác trên cát. Tuy nhiên, việc loại bỏ tính lòng vòng là một mục tiêu quan trọng.

Câu đố 721, trang 438: Mỗi phép đo là một sự so sánh với một chuẩn đo lường; mọi so sánh đều đòi hỏi ánh sáng hay một trường điện từ khác. Điều này cũng đúng cho phép đo thời gian.

Câu đố 722, trang 438: Số đo khối lượng là sự so sánh với một chuẩn đo; mỗi so sánh cần ánh sáng và một số trường điện từ khác.

Câu đố 723, trang 438: Số đo của góc có cùng tính chất với số đo của chiều dài hay thời gian.

Câu đố 725, trang 454: Khối lượng là số đo năng lượng. 'Bình phương khối lượng' không có ý nghĩa gì.

Câu đố 728, trang 456: Khoảng 10 µg.

Câu đố 729, trang 457: Có lẽ đại lượng thay đổi nhiều nhất là khối lượng nên một tiền tố cho 1 eV/c^2 chắc sẽ hữu dụng, vì nó sẽ là 1 đối với khối lượng toàn thể vũ trụ, vào khoảng 10^{90} lần lớn hơn.

Câu đố 730, trang 458: Công thức với $n - 1$ là vừa vặn nhất. Tại sao?

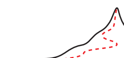
Câu đố 733, trang 459: Không! Chính xác quá thành ra vô nghĩa. Chúng chỉ mang tính minh hoạ cho dáng điệu của phân bố Gauss. Các phân bố số đo thực không phải là phân bố Gauss theo độ chính xác hàm chứa trong các con số này.

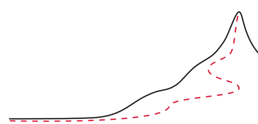
Câu đố 734, trang 459: Khoảng 0.33 m/s. Nó *không phải là* 0.333 m/s và cũng *không có* chuỗi số 3 nào dài hơn nữa!

Câu đố 736, trang 465: Tốc độ chậm lại có *bậc hai* theo thời gian vì mỗi lần chậm mới cộng thêm vào lần cũ!

Câu đố 737, trang 466: Không, chỉ có các tính chất của một số phần trong vũ trụ được liệt kê. Tự vũ trụ không có tính chất, như ta sẽ trình bày chi tiết trong phần cuối của cuộc thám hiểm này. Quyển VI, trang 112

Câu đố 738, trang 525: Thí dụ như tốc độ trong vật chất thì chậm lại nhưng giữa các nguyên tử ánh sáng vẫn di chuyển với tốc độ trong chân không.





Tài liệu tham khảo

> Aiunt enim multum legendum esse, non multa.
> Plinius, *Epistulae.**

1 For a history of science in antiquity, see Lucio Russo, *La rivoluzione dimenticata*, Feltrinelli, 1996, also available in several other languages. Cited on page 15.

2 If you want to catch up secondary school physics, the clearest and shortest introduction world-wide is a free school text, available in English and several other languages, written by a researcher who has dedicated all his life to the teaching of physics in secondary school, together with his university team: Friedrich Herrmann, *The Karlsruhe Physics Course*, free to download in English, Spanish, Russian, Italian and Chinese at www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index_en.html. It is one of the few secondary school texts that captivates and surprises even professional physicists. (The 2013 paper on this book by C. Strunk & K. Rincke, *Zum Gutachten der Deutschen Physikalischen Gesellschaft über den Karlsruher Physikkurs*, available on the internet, makes many interesting points and is enlightening for every physicist.) This can be said even more of the wonderfully daring companion text Friedrich Herrmann & Georg Job, *Historical Burdens on Physics*, whose content is also freely available on the Karlsruhe site, in English and in several other languages.

A beautiful book explaining physics and its many applications in nature and technology vividly and thoroughly is Paul G. Hewitt, John Suchocki & Leslie A. Hewitt, *Conceptual Physical Science*, Bejamin/Cummings, 1999.

A great introduction is Klaus Dransfeld, Paul Kienle & Georg Kalvius, *Physik 1: Mechanik und Wärme*, Oldenburg, 2005.

A book series famous for its passion for curiosity is Richard P. Feynman, Robert B. Leighton & Matthew Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Addison Wesley, 1977. The volumes can now be read online for free at www.feynmanlectures.info.

A lot can be learned about motion from quiz books. One of the best is the well-structured collection of beautiful problems that require no mathematics, written by Jean-Marc Lévy-Leblond, *La physique en questions – mécanique*, Vuibert, 1998.

Another excellent quiz collection is Yakov Perelman, *Oh, la physique*, Dunod, 2000, a translation from the Russian original.

A good problem book is W. G. Rees, *Physics by Example: 200 Problems and Solutions*, Cambridge University Press, 1994.

A good history of physical ideas is given in the excellent text by David Park, *The How and the Why*, Princeton University Press, 1988.

* 'Hãy đọc nhiều nhưng không phải cái gì cũng đọc.' Ep. 7, 9, 15. Gaius Plinius Secundus (b. 23/4 Novum Comum, d. 79 Vesuvius eruption), văn sĩ La Mã, đặc biệt nổi tiếng về một tác phẩm, chủ yếu là nói về khoa học *Historia naturalis*, đã được dịch và đọc trong gần 2000 năm.

An excellent introduction into physics is Robert Pohl, *Pohl's Einführung in die Physik*, Klaus Lüders & Robert O. Pohl editors, Springer, 2004, in two volumes with CDs. It is a new edition of a book that is over 70 years old; but the didactic quality, in particular of the experimental side of physics, is unsurpassed.

Another excellent Russian physics problem book, the so-called *Saraeva*, seems to exist only as Spanish translation: B.B. Bújovtsev, V.D. Krívchenkov, G.Ya. Miákishev & I.M. Saráeva *Problemas seleccionados de física elemental*, Mir, 1979.

Another good physics problem book is Giovanni Tonzig, *Cento errori di fisica pronti per l'uso*, Sansoni, third edition, 2006. See also his www.giovannitonzig.it website. Cited on pages 15, 121, 219, 323, and 530.

3 An overview of motion illusions can be found on the excellent website www.michaelbach.de/ot. The complex motion illusion figure is found on www.michaelbach.de/ot/mot_rotsnake/index.html; it is a slight variation of the original by Kitaoka Akiyoshi at www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/rotsnake.gif, published as A. Kitaoka & H. Ashida, *Phenomenal characteristics of the peripheral drift illusion*, Vision **15**, pp. 261–262, 2003. A common scam is to claim that the illusion is due to or depends on stress. Cited on page 16.

4 These and other fantastic illusions are also found in Akiyoshi Kitaoka, *Trick Eyes*, Barnes & Noble, 2005. Cited on page 16.

5 A well-known principle in the social sciences states that, given a question, for every possible answer, however weird it may seem, there is somebody – and often a whole group – who holds it as his opinion. One just has to go through literature (or the internet) to confirm this.

About group behaviour in general, see R. Axelrod, *The Evolution of Cooperation*, Harper Collins, 1984. The propagation and acceptance of ideas, such as those of physics, are also an example of human cooperation, with all its potential dangers and weaknesses. Cited on page 17.

6 All the known texts by Parmenides and Heraclitus can be found in Jean-Paul Dumont, *Les écoles présocratiques*, Folio-Gallimard, 1988. Views about the non-existence of motion have also been put forward by much more modern and much more contemptible authors, such as in 1710 by Berkeley. Cited on page 17.

Quyển III, trang 323

7 An example of people worried by Zeno is given by William McLaughlin, *Resolving Zeno's paradoxes*, Scientific American pp. 66–71, November 1994. The actual argument was not about a hand slapping a face, but about an arrow hitting the target. See also Xem 65. Cited on page 17.

8 The full text of *La Beauté* and the other poems from *Les fleurs du mal*, one of the finest books of poetry ever written, can be found at the hypermedia.univ-paris8.fr/bibliotheque/Baudelaire/Spleen.html website. Cited on page 19.

9 A famous collection of interesting examples of motion in everyday life is the excellent book by Jearl Walker, *The Flying Circus of Physics*, Wiley, 1975. Its website is at www.flyingcircusofphysics.com. Another beautiful book is Christian Ucke & H. Joachim Schlichting, *Spiel, Physik und Spaß – Physik zum Mitdenken und Mitmachen*, Wiley-VCH, 2011. For more interesting physical effects in everyday life, see Erwein Flachsel, *Hundertfünfzig Physikrätsel*, Ernst Klett Verlag, 1985. The book also covers several clock puzzles, in puzzle numbers 126 to 128. Cited on page 19.

10 A concise and informative introduction into the history of classical physics is given in the first chapter of the book by Floyd Karker Richtmyer, Earle Hesse Kennard

& John N. Cooper, *Introduction to Modern Physics*, McGraw–Hill, 1969. Cited on page 20.

11 An introduction into perception research is E. Bruce Goldstein, *Perception*, Books/Cole, 5th edition, 1998. Cited on pages 21 and 26.

12 A good overview over the arguments used to prove the existence of god from motion is given by Michael Buckley, *Motion and Motion's God*, Princeton University Press, 1971. The intensity of the battles waged around these failed attempts is one of the tragicomic chapters of history. Cited on page 21.

13 Thomas Aquinas, *Summa Theologiae* or *Summa Theologica*, 1265–1273, online in Latin at www.newadvent.org/summa, in English on several other servers. Cited on page 21.

14 For an exploration of 'inner' motions, see the beautiful text by Richard Schwartz, *Internal Family Systems Therapy*, The Guilford Press, 1995. Cited on page 21.

15 For an authoritative description of proper motion development in babies and about how it leads to a healthy character see Emmi Pikler, *Laßt mir Zeit - Die selbstständige Bewegungsentwicklung des Kindes bis zum freien Gehen*, Pflaum Verlag, 2001, and her other books. See also the website www.pikler.org. Cited on page 21.

16 See e.g. the fascinating text by David G. Chandler, *The Campaigns of Napoleon – The Mind and Method of History's Greatest Soldier*, Macmillan, 1966. Cited on page 21.

17 Richard Marcus, *American Roulette*, St Martin's Press, 2003, a thriller and a true story. Cited on page 21.

18 A good and funny book on behaviour change is the well-known text Richard Bandler, *Using Your Brain for a Change*, Real People Press, 1985. See also Richard Bandler & John Grinder, *Frogs into princes – Neuro Linguistic Programming*, Eden Grove Editions, 1990. Cited on pages 22 and 33.

19 A beautiful book about the mechanisms of human growth from the original cell to full size is Lewis Wolpert, *The Triumph of the Embryo*, Oxford University Press, 1991. Cited on page 22.

20 On the topic of grace and poise, see e.g. the numerous books on the Alexander technique, such as M. Gelb, *Body Learning – An Introduction to the Alexander Technique*, Aurum Press, 1981, and Richard Brennan, *Introduction to the Alexander Technique*, Little Brown and Company, 1996. Among others, the idea of the Alexander technique is to return to the situation that the muscle groups for sustainment and those for motion are used only for their respective function, and not vice versa. Any unnecessary muscle tension, such as neck stiffness, is a waste of energy due to the use of sustainment muscles for movement and of motion muscles for sustainment. The technique teaches the way to return to the natural use of muscles.

Motion of animals was discussed extensively already in the seventeenth century by G. Borelli, *De motu animalium*, 1680. An example of a more modern approach is J.J. Collins & I. Stewart, *Hexapodal gaits and coupled nonlinear oscillator models*, Biological Cybernetics **68**, pp. 287–298, 1993. See also I. Stewart & M. Golubitsky, *Fearful Symmetry*, Blackwell, 1992. Cited on pages 24 and 123.

21 The results on the development of children mentioned here and in the following have been drawn mainly from the studies initiated by Jean Piaget; for more details on child development, see later on. At www.piaget.org you can find the website maintained by the Jean Piaget Society. Cited on pages 25, 41, and 43.

Quyển III, trang 255

22 The reptilian brain (eat? flee? ignore?), also called the R-complex, includes the brain stem, the cerebellum, the basal ganglia and the thalamus; the old mammalian (emotions)

brain, also called the limbic system, contains the amygdala, the hypothalamus and the hippocampus; the human (and primate) (rational) brain, called the neocortex, consists of the famous grey matter. For images of the brain, see the atlas by JOHN NOLTE, *The Human Brain: An Introduction to its Functional Anatomy*, Mosby, fourth edition, 1999. Cited on page 26.

23 The lower left corner film can be reproduced on a computer after typing the following lines in the Mathematica software package: Cited on page 26.

```
   « Graphics`Animation`
Nxpixels=72; Nypixels=54; Nframes=Nxpixels 4/3;
Nxwind=Round[Nxpixels/4]; Nywind=Round[Nypixels/3];
front=Table[Round[Random[]],{y,1,Nypixels},{x,1,Nxpixels}];
back =Table[Round[Random[]],{y,1,Nypixels},{x,1,Nxpixels}];
frame=Table[front,{nf,1,Nframes}];
Do[ If[ x>n-Nxwind && x<n && y>Nywind && y<2Nywind,
  frame[[n,y,x]]=back[[y,x-n]] ],
      {x,1,Nxpixels}, {y,1,Nypixels}, {n,1,Nframes}];
film=Table[ListDensityPlot[frame[[nf]], Mesh-> False,
  Frame-> False, AspectRatio-> N[Nypixels/Nxpixels],
  DisplayFunction-> Identity],   {nf,1,Nframes}]
ShowAnimation[film]
```

But our motion detection system is much more powerful than the example shown in the lower left corners. The following, different film makes the point.

```
   « Graphics`Animation`
Nxpixels=72; Nypixels=54; Nframes=Nxpixels 4/3;
Nxwind=Round[Nxpixels/4]; Nywind=Round[Nypixels/3];
front=Table[Round[Random[]],{y,1,Nypixels},{x,1,Nxpixels}];
back =Table[Round[Random[]],{y,1,Nypixels},{x,1,Nxpixels}];
frame=Table[front,{nf,1,Nframes}];
Do[ If[ x>n-Nxwind && x<n && y>Nywind && y<2Nywind,
  frame[[n,y,x]]=back[[y,x]] ],
      {x,1,Nxpixels}, {y,1,Nypixels}, {n,1,Nframes}];
film=Table[ListDensityPlot[frame[[nf]], Mesh-> False,
  Frame-> False, AspectRatio-> N[Nypixels/Nxpixels],
  DisplayFunction-> Identity],   {nf,1,Nframes}]
ShowAnimation[film]
```

Similar experiments, e.g. using randomly changing random patterns, show that the eye perceives motion even in cases where all Fourier components of the image are practically zero; such image motion is called *drift-balanced* or *non-Fourier* motion. Several examples are presented in J. ZANKER, *Modelling human motion perception I: Classical stimuli*, Naturwissenschaften **81**, pp. 156–163, 1994, and J. ZANKER, *Modelling human motion perception II: Beyond Fourier motion stimuli*, Naturwissenschaften **81**, pp. 200–209, 1994. Modern research has helped to find the corresponding neuronal structures, as shown in S. A. BACCUS, B. P. OLVECZKY, M. MANU & M. MEISTER, *A retinal circuit that computes object motion*, Journal of Neuroscience **28**, pp. 6807–6817, 2008.

24 All fragments from Heraclitus are from JOHN MANSLEY ROBINSON, *An Introduction to Early Greek Philosophy*, Houghton Muffin 1968, chapter 5. Cited on page 27.

25 On the block and tackle, see the explanations by Donald Simanek at http://www.lhup.edu/~dsimanek/TTT-fool/fool.htm. Cited on page 32.

26 An overview over these pretty puzzles is found in E. D. DEMAINE, M. L. DEMAINE, Y. N. MINSKI, J. S. B. MITCHELL, R. L. RIVEST & M. PATRASCU, *Picture-hanging puzzles*, preprint at arxiv.org/abs/1203.3602. Cited on page 34.

27 An introduction to Newton the alchemist are the books by BETTY JO TEETER DOBBS, *The Foundations of Newton's Alchemy*, Cambridge University Press, 1983, and *The Janus Face of Genius*, Cambridge University Press, 1992. Newton is found to be a sort of highly intellectual magician, desperately looking for examples of processes where gods interact with the material world. An intense but tragic tale. A good overview is provided by R. G. KEESING, *Essay Review: Newton's Alchemy*, Contemporary Physics **36**, pp. 117–119, 1995.

Newton's infantile theology, typical for god seekers who grew up without a father, can be found in the many books summarizing the letter exchanges between Clarke, his secretary, and Leibniz, Newton's rival for fame. Cited on page 35.

28 An introduction to the story of classical mechanics, which also destroys a few of the myths surrounding it – such as the idea that Newton could solve differential equations or that he introduced the expression $F = ma$ – is given by CLIFFORD A. TRUESDELL, *Essays in the History of Mechanics*, Springer, 1968. Cited on pages 35, 179, and 228.

29 The slowness of the effective speed of light inside the Sun is due to the frequent scattering of photons by solar matter. The best estimate of its value is by R. MITALAS & K. R. SILLS, *On the photon diffusion time scale for the Sun*, The Astrophysical Journal **401**, pp. 759–760, 1992. They give an average speed of 0.97 cm/s over the whole Sun and a value about 10 times smaller at its centre. Cited on page 37.

30 C. LIU, Z. DUTTON, C. H. BEHROOZI & L. VESTERGAARD HAU, *Observation of coherent optical information storage in an atomic medium using halted light pulses*, Nature **409**, pp. 490–493, 2001. There is also a comment on the paper by E. A. CORNELL, *Stopping light in its track*, **409**, pp. 461–462, 2001. However, despite the claim, the light pulses of course have *not* been halted. Can you give at least two reasons without even reading the paper, and maybe a third after reading it?
Câu đố 738 s
The work was an improvement on the previous experiment where a group velocity of light of 17 m/s had been achieved, in an ultracold gas of sodium atoms, at nanokelvin temperatures. This was reported by L. VESTERGAARD HAU, S. E. HARRIS, Z. DUTTON & C. H. BEHROOZI, *Light speed reduction to 17 meters per second in an ultracold atomic gas*, Nature **397**, pp. 594–598, 1999. Cited on page 37.

31 RAINER FLINDT, *Biologie in Zahlen – Eine Datensammlung in Tabellen mit über 10.000 Einzelwerten*, Spektrum Akademischer Verlag, 2000. Cited on page 37.

32 Two jets with that speed have been observed by I. F. MIRABEL & L. F. RODRÍGUEZ, *A superluminal source in the Galaxy*, Nature **371**, pp. 46–48, 1994, as well as the comments on p. 18. Cited on page 37.

33 A beautiful introduction to the slowest motions in nature, the changes in landscapes, is DETLEV BUSCHE, JÜRGEN KEMPF & INGRID STENGEL, *Landschaftsformen der Erde – Bildatlas der Geomorphologie*, Primus Verlag, 2005. Cited on page 40.

34 To build your own sundial, see the pretty and short ARNOLD ZENKERT, *Faszination Sonnenuhr*, VEB Verlag Technik, 1984. See also the excellent and complete introduction into this somewhat strange world at the www.sundials.co.uk website. Cited on page 43.

35 An introduction to the sense of time as a result of clocks in the brain is found in R. B. IVRY & R. SPENCER, *The neural representation of time*, Current Opinion in Neurobiology **14**, pp. 225–232, 2004. The chemical clocks in our body are described in JOHN D. PALMER,

The Living Clock, Oxford University Press, 2002, or in A. Ahlgren & F. Halberg, *Cycles of Nature: An Introduction to Biological Rhythms*, National Science Teachers Association, 1990. See also the www.msi.umn.edu/~halberg/introd website. Cited on page 44.

36 This has been shown among others by the work of Anna Wierzbicka that is discussed in more detail in one of the subsequent volumes. The passionate best seller by the Chomskian author Steven Pinker, *The Language Instinct – How the Mind Creates Language*, Harper Perennial, 1994, also discusses issues related to this matter, refuting amongst others on page 63 the often repeated false statement that the *Hopi* language is an exception. Cited on page 44.

Quyển III, trang 278

37 For more information, see the excellent and freely downloadable books on biological clocks by Wolfgang Engelmann on the website www.uni-tuebingen.de/plantphys/bioclox. Cited on page 45.

38 B. Günther & E. Morgado, *Allometric scaling of biological rhythms in mammals*, Biological Research **38**, pp. 207–212, 2005. Cited on page 45.

39 Aristotle rejects the idea of the flow of time in chapter IV of his *Physics*. See the full text on the classics.mit.edu/Aristotle/physics.4.iv.html website. Cited on page 49.

40 Perhaps the most informative of the books about the 'arrow of time' is Hans Dieter Zeh, *The Physical Basis of the Direction of Time*, Springer Verlag, 4th edition, 2001. It is still the best book on the topic. Most other texts exist – have a look on the internet – but lack clarity of ideas.

A typical conference proceeding is J. J. Halliwell, J. Pérez-Mercader & Wojciech H. Zurek, *Physical Origins of Time Asymmetry*, Cambridge University Press, 1994. Cited on page 50.

41 On the issue of absolute and relative motion there are many books about few issues. Examples are Julian Barbour, *Absolute or Relative Motion? Vol. 1: A Study from the Machian Point of View of the Discovery and the Structure of Spacetime Theories*, Cambridge University Press, 1989, Julian Barbour, *Absolute or Relative Motion? Vol. 2: The Deep Structure of General Relativity*, Oxford University Press, 2005, or John Earman, *World Enough and Spacetime: Absolute vs Relational Theories of Spacetime*, MIT Press, 1989. A speculative solution on the alternative between absolute and relative motion is presented in volume VI. Cited on page 54.

Quyển VI, trang 65

42 Coastlines and other fractals are beautifully presented in Heinz-Otto Peitgen, Hartmut Jürgens & Dietmar Saupe, *Fractals for the Classroom*, Springer Verlag, 1992, pp. 232–245. It is also available in several other languages. Cited on page 57.

43 R. Dougherty & M. Foreman, *Banach–Tarski decompositions using sets with the property of Baire*, Journal of the American Mathematical Society **7**, pp. 75–124, 1994. See also Alan L.T. Paterson, *Amenability*, American Mathematical Society, 1998, and Robert M. French, *The Banach–Tarski theorem*, The Mathematical Intelligencer **10**, pp. 21–28, 1998. Finally, there are the books by Bernard R. Gelbaum & John M. H. Olmsted, *counter-examples in Analysis*, Holden–Day, 1964, and their *Theorems and counter-examples in Mathematics*, Springer, 1993. Cited on page 59.

44 The beautiful but not easy text is Stan Wagon, *The Banach Tarski Paradox*, Cambridge University Press, 1993. Cited on pages 59 and 479.

45 About the shapes of salt water bacteria, see the corresponding section in the interesting book by Bernard Dixon, *Power Unseen – How Microbes Rule the World*, W.H. Freeman, 1994. The book has about 80 sections, in which as many microorganisms are vividly presented. Cited on page 60.

46 OLAF MEDENBACH & HARRY WILK, *Zauberwelt der Mineralien*, Sigloch Edition, 1977. It combines beautiful photographs with an introduction into the science of crystals, minerals and stones. About the largest crystals, see P. C. RICKWOOD, *The largest crystals*, **66**, pp. 885–908, 1981, also available on www.minsocam.org/MSA/collectors_corner/arc/large_crystals.htm. For an impressive example, the Naica cave in Mexico, see www.naica.com.mx/ingles/index.htm Cited on page 60.

47 See the websites www.weltbildfrage.de/3frame.htm and www.lhup.edu/~dsimanek/hollow/morrow.htm. Cited on page 61.

48 The smallest distances are probed in particle accelerators; the distance can be determined from the energy of the particle beam. In 1996, the value of 10^{-19} m (for the upper limit of the size of quarks) was taken from the experiments described in F. ABE & al., *Measurement of dijet angular distributions by the collider detector at Fermilab*, Physical Review Letters 77, pp. 5336–5341, 1996. Cited on page 67.

49 More on the Moon illusion can be found at the website science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2008/16jun_moonillusion/. All the works of Ptolemy are found online at www.ptolemaeus.badw.de. Cited on page 70.

50 These puzzles are taken from the puzzle collection at www.mathematische-basteleien.de. Cited on page 71.

51 ALEXANDER K. DEWDNEY, *The Planiverse – Computer Contact with a Two-dimensional World*, Poseidon Books/Simon & Schuster, 1984. See also EDWIN A. ABBOTT, *Flatland: A romance of many dimensions*, 1884. Several other fiction authors had explored the option of a two-dimensional universe before, always answering, incorrectly, in the affirmative. Cited on page 73.

52 J. BOHR & K. OLSEN, *The ancient art of laying rope*, preprint at arxiv.org/abs/1004.0814 Cited on page 73.

53 For an overview and references see www.pbrc.hawaii.edu/~petra/animal_olympians.html. Cited on page 74.

54 P. PIERANSKI, S. PRZYBYL & A. STASIAK, *Tight open knots*, European Physical Journal E **6**, pp. 123–128, 2001, preprint at arxiv.org/abs/physics/0103016. Cited on page 74.

55 On the world of fireworks, see the frequently asked questions list of the usenet group rec.pyrotechnics, or search the web. A simple introduction is the article by J. A. CONKLING, *Pyrotechnics*, Scientific American pp. 66–73, July 1990. Cited on page 76.

56 There is a whole story behind the variations of g. It can be discovered in CHUJI TSUBOI, *Gravity*, Allen & Unwin, 1979, or in WOLFGANG TORGE, *Gravimetry*, de Gruyter, 1989, or in MILAN BURŠA & KAREL PĚČ, *The Gravity Field and the Dynamics of the Earth*, Springer, 1993. The variation of the height of the soil by up to 0.3 m due to the Moon is one of the interesting effects found by these investigations. Cited on pages 77 and 197.

57 STILLMAN DRAKE, *Galileo: A Very Short Introduction*, Oxford University Press, 2001. Cited on page 77.

58 ANDREA FROVA, *La fisica sotto il naso – 44 pezzi facili*, Biblioteca Universale Rizzoli, Milano, 2001. Cited on page 77.

59 On the other hands, other sciences enjoy studying usual paths in all detail. See, for example, HEINI HEDIGER, editor, *Die Straßen der Tiere*, Vieweg & Sohn, 1967. Cited on page 78.

60 H.K. ERIKSEN, J.R. KRISTIANSEN, Ø. LANGANGEN & I.K. WEHUS, *How fast could Usain Bolt have run? A dynamical study*, American Journal of Physics 77, pp. 224–228, 2009. Cited on page 79.

61 This was discussed in the *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 2nd of August, 1997, at the time of the world athletics championship. The values are for the fastest part of the race of a 100 m sprinter; the exact values cited were called the running speed world records in 1997, and were given as 12.048 m/s = 43.372 km/h by Ben Johnson for men, and 10.99 m/s = 39.56 km/h for women. Cited on page 79.

62 Long jump data and literature can be found in three articles all entitled *Is a good long jumper a good high jumper?*, in the American Journal of Physics **69**, pp. 104–105, 2001. In particular, world class long jumpers run at 9.35 ± 0.15 m/s, with vertical take-off speeds of 3.35 ± 0.15 m/s, giving take-off angles of about (only) 20°. A new technique for achieving higher take-off angles would allow the world long jump record to increase dramatically. Cited on page 79.

63 The study of shooting faeces (i.e., shit) and its mechanisms is a part of modern biology. The reason that caterpillars do this was determined by M. Weiss, *Good housekeeping: why do shelter-dwelling caterpillars fling their frass?*, Ecology Letters **6**, pp. 361–370, 2003, who also gives the present record of 1.5 m for the 24 mg pellets of *Epargyreus clarus*. The picture of the flying frass is from S. Caveney, H. McLean & D. Surry, *Faecal firing in a skipper caterpillar is pressure-driven*, The Journal of Experimental Biology **201**, pp. 121–133, 1998. Cited on page 80.

64 H. C. Bennet-Clark, *Scale effects in jumping animals*, pp. 185–201, in T. J. Pedley, editor, *Scale Effects in Animal Locomotion*, Academic Press, 1977. Cited on page 80.

65 The arguments of Zeno can be found in Aristotle, *Physics*, VI, 9. It can be found translated in almost any language. The classics.mit.edu/Aristotle/physics.6.vi.html website provides an online version in English. Cited on pages 84 and 522.

66 See, for exaple, K. V. Kumar & W. T. Norfleet, *Issues of human acceleration tolerance after long-duration space flights*, NASA Technical Memorandum 104753, pp. 1–55, 1992, available at ntrs.nasa.gov. Cited on page 86.

67 Etymology can be a fascinating topic, e.g. when research discovers the origin of the German word 'Weib' ('woman', related to English 'wife'). It was discovered, via a few texts in Tocharian – an extinct Indo-European language from a region inside modern China – to mean originally 'shame'. It was used for the female genital region in an expression meaning 'place of shame'. With time, this expression became to mean 'woman' in general, while being shortened to the second term only. This connection was discovered by the linguist Klaus T. Schmidt; it explains in particular why the word is not feminine but neutral, i.e., why it uses the article 'das' instead of 'die'. Julia Simon, private communication.

Etymology can also be simple and plain fun, for example when one discovers in the *Oxford English Dictionary* that 'testimony' and 'testicle' have the same origin; indeed in Latin the same word 'testis' was used for both concepts. Cited on pages 87 and 103.

68 An overview of the latest developments is given by J. T. Armstrong, D. J. Hunter, K. J. Johnston & D. Mozurkewich, *Stellar optical interferometry in the 1990s*, Physics Today pp. 42–49, May 1995. More than 100 stellar diameters were known already in 1995. Several dedicated powerful instruments are being planned. Cited on page 89.

69 A good biology textbook on growth is Arthur F. Hopper & Nathan H. Hart, *Foundations of Animal Deveopment*, Oxford University Press, 2006. Cited on page 90.

70 This is discussed for example in C. L. Stong, *The amateur scientist – how to supply electric power to something which is turning*, Scientific American pp. 120–125, December 1975. It also discusses how to make a still picture of something rotating simply by using a few prisms, the so-called *Dove prisms*. Other examples of attaching something to a rotating body are given

by E. Rieflin, *Some mechanisms related to Dirac's strings*, American Journal of Physics **47**, pp. 379–381, 1979. Cited on page 90.

71 James A. Young, *Tumbleweed*, Scientific American **264**, pp. 82–87, March 1991. The tumbleweed is in fact quite rare, except in Hollywood westerns, where all directors feel obliged to give it a special appearance. Cited on page 90.

72 The classic book on the topic is James Gray, *Animal Locomotion*, Weidenfeld & Nicolson, 1968. Cited on page 91.

73 About *N. decemspinosa*, see R. L. Caldwell, *A unique form of locomotion in a stomatopod – backward somersaulting*, Nature **282**, pp. 71–73, 1979, and R. Full, K. Earls, M. Wong & R. Caldwell, *Locomotion like a wheel?*, Nature **365**, p. 495, 1993. About rolling caterpillars, see J. Brackenbury, *Caterpillar kinematics*, Nature **330**, p. 453, 1997, and J. Brackenbury, *Fast locomotion in caterpillars*, Journal of Insect Physiology **45**, pp. 525–533, 1999. More images around legs can be found on rjf9.biol.berkeley.edu/twiki/bin/view/PolyPEDAL/LabPhotographs. Cited on page 91.

74 The locomotion of the spiders of the species *Cebrennus villosus* has been described by Ingo Rechenberg from Berlin. See the video at www.youtube.com/watch?v=Aayb_h31RyQ. Cited on page 91.

75 The first experiments to prove the rotation of the flagella were by M. Silverman & M. I. Simon, *Flagellar rotation and the mechanism of bacterial motility*, Nature **249**, pp. 73–74, 1974. For some pretty pictures of the molecules involved, see K. Namba, *A biological molecular machine: bacterial flagellar motor and filament*, Wear **168**, pp. 189–193, 1993, or the website www.nanonet.go.jp/english/mailmag/2004/011a.html. The present record speed of rotation, 1700 rotations per second, is reported by Y. Magariyama, S. Sugiyama, K. Muramoto, Y. Maekawa, I. Kawagishi, Y. Imae & S. Kudo, *Very fast flagellar rotation*, Nature **371**, p. 752, 1994.

More on bacteria can be learned from David Dusenbery, *Life at a Small Scale*, Scientific American Library, 1996. Cited on page 93.

76 S. Chen & al., *Structural diversity of bacterial flagellar motors*, EMBO Journal **30**, pp. 2972–2981, 2011, also online at emboj.embopress.org/content/30/14/2972. Cited on page 93.

77 M. P. Brenner, S. Hilgenfeldt & D. Lohse, *Single bubble sonoluminescence*, Reviews of Modern Physics **74**, pp. 425–484, 2002. Cited on page 97.

78 K. R. Weninger, B. P. Barber & S. J. Putterman, *Pulsed Mie scattering measurements of the collapse of a sonoluminescing bubble*, Physical Review Letters **78**, pp. 1799–1802, 1997. Cited on page 97.

79 On shadows, see the agreeable popular text by Roberto Casati, *Alla scoperta dell'ombra – Da Platone a Galileo la storia di un enigma che ha affascinato le grandi menti dell'umanità*, Oscar Mondadori, 2000, and his website located at www.shadowes.org. Cited on page 99.

80 There is also the beautiful book by Penelope Farrant, *Colour in Nature*, Blandford, 1997. Cited on page 99.

81 The 'laws' of cartoon physics can easily be found using any search engine on the internet. Cited on page 99.

82 For the curious, an overview of the illusions used in the cinema and in television, which lead to some of the strange behaviour of images mentioned above, is given in Bernard Wilkie, *The Technique of Special Effects in Television*, Focal Press, 1993, and his other books, or in the *Cinefex* magazine. On digital cinema techniques, see Peter C. Slansky, editor, *Digitaler film – digitales Kino*, UVK Verlag, 2004. Cited on page 100.

83 Aetius, Opinions, I, XXIII, 3. See Jean-Paul Dumont, *Les écoles présocratiques*, Folio Essais, Gallimard, p. 426, 1991. Cited on page 100.

84 Giuseppe Fumagalli, *Chi l'ha detto?*, Hoepli, 1983. It is from Pappus of Alexandria's opus *Synagoge*, book VIII, 19. Cited on pages 102 and 236.

85 See www.straightdope.com/classics/a5_262.html and the more dubious en.wikipedia.org/wiki/Guillotine. Cited on page 103.

86 See the path-breaking paper by A. DiSessa, *Momentum flow as an alternative perspective in elementary mechanics*, **48**, p. 365, 1980, and A. DiSessa, *Erratum: "Momentum flow as an alternative perspective in elementary mechanics" [Am. J. Phys. 48, 365 (1980)]*, **48**, p. 784, 1980. Also the wonderful free textbook by Friedrich Herrmann, *The Karlsruhe Physics Course*, makes this point extensively; see Xem 2. Cited on pages 110, 228, 231, and 505.

87 For the role and chemistry of adenosine triphosphate (ATP) in cells and in living beings, see any chemistry book, or search the internet. The uncovering of the mechanisms around ATP has led to Nobel Prizes in Chemistry in 1978 and in 1997. Cited on page 111.

88 A picture of this unique clock can be found in the article by A. Garrett, *Perpetual motion – a delicious delirium*, Physics World pp. 23–26, December 1990. Cited on page 111.

89 Esger Brunner, *Het ongelijk van Newton – het kleibakexperiment van 's Gravesande nagespeld*, Nederland tijdschrift voor natuurkunde pp. 95–96, Maart 2012. The paper contains photographs of the mud imprints. Cited on page 113.

90 A Shell study estimated the world's total energy consumption in 2000 to be 500 EJ. The US Department of Energy estimated it to be around 416 EJ. We took the lower value here. A discussion and a breakdown into electricity usage (14 EJ) and other energy forms, with variations per country, can be found in S. Benka, *The energy challenge*, Physics Today **55**, pp. 38–39, April 2002, and in E. J. Monitz & M. A. Kenderdine, *Meeting energy challenges: technology and policy*, Physics Today **55**, pp. 40–46, April 2002. Cited on pages 113 and 116.

91 L. M. Miller, F. Gans & A. Kleidon, *Estimating maximum global land surface wind power extractability and associated climatic consequences*, Earth System Dynamics **2**, pp. 1–12, 2011. Cited on page 116.

92 For an overview, see the paper by J. F. Mulligan & H. G. Hertz, *An unpublished lecture by Heinrich Hertz: 'On the energy balance of the Earth'*, American Journal of Physics **65**, pp. 36–45, 1997. Cited on page 116.

93 For a beautiful photograph of this feline feat, see the cover of the journal and the article of J. Darius, *A tale of a falling cat*, Nature **308**, p. 109, 1984. Cited on page 122.

94 Natthi L. Sharma, *A new observation about rolling motion*, European Journal of Physics **17**, pp. 353–356, 1996. Cited on page 123.

95 C. Singh, *When physical intuition fails*, American Journal of Physics **70**, pp. 1103–1109, 2002. Cited on page 123.

96 There is a vast literature on walking. Among the books on the topic, two well-known introductions are Robert McNeill Alexander, *Exploring Biomechanics: Animals in Motion*, Scientific American Library, 1992, and Steven Vogel, *Comparative Biomechanics - Life's Physical World*, Princeton University Press, 2003. Cited on page 124.

97 Serge Gracovetsky, *The Spinal Engine*, Springer Verlag, 1990. It is now also known that human gait is chaotic. This is explained by M. Perc, *The dynamics of human gait*, European Journal of Physics **26**, pp. 525–534, 2005. On the physics of walking and running,

see also the respective chapters in the delightful book by Werner Gruber, *Unglaublich einfach, einfach unglaublich: Physik für jeden Tag*, Heyne, 2006. Cited on page 124.

98 M. Llobera & T.J. Sluckin, *Zigzagging: theoretical insights on climbing strategies*, Journal of Theoretical Biology **249**, pp. 206–217, 2007. Cited on page 126.

99 This description of life and death is called the concept of *maximal metabolic scope*. Look up details in your favourite library. A different phrasing is the one by M. Ya. Azbel, *Universal biological scaling and mortality*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA **91**, pp. 12453–12457, 1994. He explains that every atom in an organism consumes, on average, 20 oxygen molecules per life-span. Cited on page 126.

100 Duncan MacDougall, *Hypothesis concerning soul substance together with experimental evidence of the existence of such substance*, American Medicine **2**, pp. 240–243, April 1907, and Duncan MacDougall, *Hypothesis concerning soul substance*, American Medicine **2**, pp. 395–397, July 1907. Reading the papers shows that the author has little practice in performing reliable weight and time measurements. Cited on page 127.

101 A good roulette prediction story from the 1970s is told by Thomas A. Bass, *The Eudaemonic Pie* also published under the title *The Newtonian Casino*, Backinprint, 2000. An overview up to 1998 is given in the paper Edward O. Thorp, *The invention of the first wearable computer*, *Proceedings of the Second International Symposium on Wearable Computers* (ISWC 1998), 19-20 October 1998, Pittsburgh, Pennsylvania, USA (IEEE Computer Society), pp. 4–8, 1998, downloadable at csdl.computer.org/comp/proceedings/iswc/1998/9074/00/9074toc.htm. Cited on page 128.

102 This and many other physics surprises are described in the beautiful lecture script by Josef Zweck, *Physik im Alltag*, the notes of his lectures held in 1999/2000 at the Universität Regensburg. Cited on pages 129 and 134.

103 The equilibrium of ships, so important in car ferries, is an interesting part of shipbuilding; an introduction was already given by Leonhard Euler, *Scientia navalis*, 1749. Cited on page 130.

104 Thomas Heath, *Aristarchus of Samos – the Ancient Copernicus*, Dover, 1981, reprinted from the original 1913 edition. Aristarchus' treaty is given in Greek and English. Aristarchus was the first proposer of the heliocentric system. Aristarchus had measured the length of the day (in fact, by determining the number of days per year) to the astonishing precision of less than one second. This excellent book also gives an overview of Greek astronomy before Aristarchus, explained in detail for each Greek thinker. Aristarchus' text is also reprinted in Aristarchus, *On the sizes and the distances of the Sun and the Moon*, *c.* 280 BCE in Michael J. Crowe, *Theories of the World From Antiquity to the Copernican Revolution*, Dover, 1990, especially on pp. 27–29. Cited on page 136.

105 T. Gerkema & L. Gostiaux, *A brief history of the Coriolis force*, Europhysics News **43**, pp. 14–17, 2012. Cited on page 139.

106 See for example the videos on the Coriolis effect at techtv.mit.edu/videos/3722 and techtv.mit.edu/videos/3714, or search for videos on youtube.com. Cited on page 139.

107 The influence of the Coriolis effect on icebergs was studied most thoroughly by the physicist turned oceanographer Walfrid Ekman (b. 1874 Stockholm, d. 1954 Gostad); the topic was suggested by the great explorer Fridtjof Nansen, who also made the first observations. In his honour, one speaks of the Ekman layer, Ekman transport and Ekman spirals. Any text on oceanography or physical geography will give more details about them. Cited on page 140.

108 An overview of the effects of the Coriolis acceleration $\boldsymbol{a} = -2\boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{v}$ in the rotating frame is

given by Edward A. Desloge, *Classical Mechanics*, Volume 1, John Wiley & Sons, 1982. Even the so-called *Gulf Stream*, the current of warm water flowing from the Caribbean to the North Sea, is influenced by it. Cited on page 140.

109 The original publication is by A. H. Shapiro, *Bath-tub vortex*, Nature **196**, pp. 1080–1081, 1962. He also produced two films of the experiment. The experiment has been repeated many times in the northern and in the southern hemisphere, where the water drains clockwise; the first southern hemisphere test was L.M. Trefethen & al., *The bath-tub vortex in the southern hemisphere*, Nature **201**, pp. 1084–1085, 1965. A complete literature list is found in the letters to the editor of the American Journal of Physics **62**, p. 1063, 1994. Cited on pages 140 and 141.

110 The tricks are explained by H. Richard Crane, *Short Foucault pendulum: a way to eliminate the precession due to ellipticity*, American Journal of Physics **49**, pp. 1004–1006, 1981, and particularly in H. Richard Crane, *Foucault pendulum wall clock*, American Journal of Physics **63**, pp. 33–39, 1993. The Foucault pendulum was also the topic of the thesis of Heike Kamerling Onnes, *Nieuwe bewijzen der aswenteling der aarde*, Universiteit Groningen, 1879. Cited on page 141.

111 The reference is J. G. Hagen, *La rotation de la terre : ses preuves mécaniques anciennes et nouvelles*, Sp. Astr. Vaticana Second. App. Rome, 1910. His other experiment is published as J. G. Hagen, *How Atwood's machine shows the rotation of the Earth even quantitatively*, International Congress of Mathematics, Aug. 1912. Cited on page 144.

112 The original papers are A. H. Compton, *A laboratory method of demonstrating the Earth's rotation*, Science **37**, pp. 803–806, 1913, A. H. Compton, *Watching the Earth revolve*, Scientific American Supplement no. 2047, pp. 196–197, 1915, and A. H. Compton, *A determination of latitude, azimuth and the length of the day independent of astronomical observations*, Physical Review (second series) **5**, pp. 109–117, 1915. Cited on page 144.

113 The G-ring in Wettzell is so precise, with a resolution of less than 10^{-8}, that it has detected the motion of the poles. For details, see K. U. Schreiber, A. Velikoseltsev, M. Rothacher, T. Kluegel, G. E. Stedman & D. L. Wiltshire, *Direct measurement of diurnal polar motion by ring laser gyroscopes*, Journal of Geophysical Research **109 B**, p. 06405, 2004, an a review article at T. Klügel, W. Schlüter, U. Schreiber & M. Schneider, *Großringlaser zur kontinuierlichen Beobachtung der Erdrotation*, Zeitschrift für Vermessungswesen **130**, pp. 99–108, February 2005. Cited on page 145.

114 R. Anderson, H. R. Bilger & G. E. Stedman, *The Sagnac-effect: a century of Earth-rotated interferometers*, American Journal of Physics **62**, pp. 975–985, 1994.

See also the clear and extensive paper by G. E. Stedman, *Ring laser tests of fundamental physics and geophysics*, Reports on Progress in Physics **60**, pp. 615–688, 1997. Cited on page 145.

115 About the length of the day, see the maia.usno.navy.mil website, or the books by K. Lambeck, *The Earth's Variable Rotation: Geophysical Causes and Consequences*, Cambridge University Press, 1980, and by W. H. Munk & G. J. F. MacDonald, *The Rotation of the Earth*, Cambridge University Press, 1960. For a modern ring laser set-up, see www.wettzell.ifag.de. Cited on pages 146 and 200.

116 H. Bucka, *Zwei einfache Vorlesungsversuche zum Nachweis der Erddrehung*, Zeitschrift für Physik **126**, pp. 98–105, 1949, and H. Bucka, *Zwei einfache Vorlesungsversuche zum Nachweis der Erddrehung. II. Teil*, Zeitschrift für Physik **128**, pp. 104–107, 1950. Cited on page 146.

117 One example of data is by C. P. Sonett, E. P. Kvale, A. Zakharian, M. A. Chan & T. M. Demko, *Late proterozoic and paleozoic tides, retreat of the moon, and rotation of the Earth*, Science **273**, pp. 100–104, 5 July 1996. They deduce from tidal sediment analysis that days were only 18 to 19 hours long in the Proterozoic, i.e., 900 million years ago; they assume that the year was 31 million seconds long from then to today. See also C. P. Sonett & M. A. Chan, *Neoproterozoic Earth-Moon dynamics – rework of the 900 MA Big Cottonwood canyon tidal laminae*, Geophysical Research Letters **25**, pp. 539–542, 1998. Another determination was by G. E. Williams, *Precambrian tidal and glacial clastic deposits: implications for precambrian Earth–Moon dynamics and palaeoclimate*, Sedimentary Geology **120**, pp. 55–74, 1998. Using a geological formation called *tidal rhythmites*, he deduced that about 600 million years ago there were 13 months per year and a day had 22 hours. Cited on page 146.

118 For the story of this combination of history and astronomy see Richard Stephenson, *Historical Eclispes and Earth's Rotation*, Cambridge University Press, 1996. Cited on page 147.

119 B. F. Chao, *Earth Rotational Variations excited by geophysical fluids*, IVS 2004 General Meeting proceedings/ pages 38-46. Cited on page 147.

120 On the rotation and history of the Solar System, see S. Brush, *Theories of the origin of the solar system 1956–1985*, Reviews of Modern Physics **62**, pp. 43–112, 1990. Cited on page 147.

121 The website hpiers.obspm.fr/eop-pc shows the motion of the Earth's axis over the last ten years. The International Latitude Service founded by Küstner is now part of the International Earth Rotation Service; more information can be found on the www.iers.org website. The latest idea is that two-thirds of the circular component of the polar motion, which in the USA is called 'Chandler wobble' after the person who attributed to himself the discovery by Küstner, is due to fluctuations of the ocean pressure at the bottom of the oceans and one-third is due to pressure changes in the atmosphere of the Earth. This is explained by R. S. Gross, *The excitation of the Chandler wobble*, Geophysical Physics Letters **27**, pp. 2329–2332, 2000. Cited on page 148.

122 S. B. Lambert, C. Bizouard & V. Dehant, *Rapid variations in polar motion during the 2005-2006 winter season*, Geophysical Research Letters **33**, p. L13303, 2006. Cited on page 148.

123 For more information about Alfred Wegener, see the (simple) text by Klaus Rohrbach, *Alfred Wegener – Erforscher der wandernden Kontinente*, Verlag Freies Geistesleben, 1993; about plate tectonics, see the www.scotese.com website. About earthquakes, see the www.geo.ed.ac.uk/quakexe/quakes and the www.iris.edu/seismon website. See the vulcan.wr.usgs.gov and the www.dartmouth.edu/~volcano websites for information about volcanoes. Cited on page 151.

124 J. Jouzel & al., *Orbital and millennial Antarctic climate variability over the past 800,000 years*, Science **317**, pp. 793–796, 2007, takes the data from isotope concentrations in ice cores. In contrast, J. D. Hays, J. Imbrie & N. J. Shackleton, *Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages*, Science **194**, pp. 1121–1132, 1976, confirmed the connection with orbital parameters by literally digging in the mud that covers the ocean floor in certain places. Note that the web is full of information on the ice ages. Just look up 'Milankovitch' in a search engine. Cited on pages 154 and 155.

125 R. Humphreys & J. Larsen, *The sun's distance above the galactic plane*, Astronomical Journal **110**, pp. 2183–2188, November 1995. Cited on page 154.

126 C. L. Bennet, M. S. Turner & M. White, *The cosmic rosetta stone*, Physics Today **50**, pp. 32–38, November 1997. Cited on page 157.

127 The website www.geoffreylandis.com/vacuum.html gives a description of what happened. See also the www.geoffreylandis.com/ebullism.html and imagine.gsfc.nasa.gov/docs/ask_astro/answers/970603.html websites. They all give details on the effects of vacuum on humans. Cited on page 162.

128 R. McN. Alexander, *Leg design and jumping technique for humans, other vertebrates and insects*, Philosophical Transactions of the Royal Society in London B **347**, pp. 235–249, 1995. Cited on page 170.

129 J. W. Glasheen & T. A. McMahon, *A hydrodynamic model of locomotion in the basilisk lizard*, Nature **380**, pp. 340–342, For pictures, see also New Scientist, p. 18, 30 March 1996, or Scientific American, pp. 48–49, September 1997, or the website by the author at rjf2.biol.berkeley.edu/Full_Lab/FL_Personnel/J_Glasheen/J_Glasheen.html.

Several shore birds also have the ability to run over water, using the same mechanism. Cited on page 171.

130 A. Fernandez-Nieves & F. J. de las Nieves, *About the propulsion system of a kayak and of Basiliscus basiliscus*, European Journal of Physics **19**, pp. 425–429, 1998. Cited on page 171.

131 Y. S. Song, S. H. Suhr & M. Sitti, *Modeling of the supporting legs for designing biomimetic water strider robot*, Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Orlando, USA, 2006. S. H. Suhr, Y. S. Song, S. J. Lee & M. Sitti, *Biologically inspired miniature water strider robot*, Proceedings of the Robotics: Science and Systems I, Boston, USA, 2005. See also the website www.me.cmu.edu/faculty1/sitti/nano/projects/waterstrider. Cited on page 171.

132 J. Iriarte-Díaz, *Differential scaling of locomotor performance in small and large terrestrial mammals*, The Journal of Experimental Biology **205**, pp. 2897–2908, 2002. Cited on pages 172 and 558.

133 M. Wittlinger, R. Wehner & H. Wolf, *The ant odometer: stepping on stilts and stumps*, Science **312**, pp. 1965–1967, 2006. Cited on page 172.

134 P. G. Weyand, D. B. Sternlight, M. J. Bellizzi & S. Wright, *Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements*, Journal of Applied Physiology **89**, pp. 1991–1999, 2000. Cited on page 173.

135 The material on the shadow discussion is from the book by Robert M. Pryce, *Cook and Peary*, Stackpole Books, 1997. See also the details of Peary's forgeries in Wally Herbert, *The Noose of Laurels*, Doubleday 1989. The sad story of Robert Peary is also told in the centenary number of *National Geographic*, September 1988. Since the National Geographic Society had financed Peary in his attempt and had supported him until the US Congress had declared him the first man at the Pole, the (partial) retraction is noteworthy. (The magazine then changed its mind again later on, to sell more copies, and now again claims that Peary reached the North Pole.) By the way, the photographs of Cook, who claimed to have been at the North Pole even before Peary, have the same problem with the shadow length. Both men have a history of cheating about their 'exploits'. As a result, the first man at the North Pole was probably Roald Amundsen, who arrived there a few years later, and who was also the first man at the South Pole. Cited on page 136.

136 The story is told in M. Nauenberg, *Hooke, orbital motion, and Newton's Principia*, American Journal of Physics **62**, 1994, pp. 331–350. Cited on page 179.

137 More details are given by D. Rawlins, in *Doubling your sunsets or how anyone can measure the Earth's size with wristwatch and meter stick*, American Journal of Physics **47**, 1979, pp. 126–128. Another simple measurement of the Earth radius, using only a sextant, is given

by R. O'Keefe & B. Ghavimi-Alagha, in *The World Trade Center and the distance to the world's center*, American Journal of Physics **60**, pp. 183–185, 1992. Cited on page 180.

138 More details on astronomical distance measurements can be found in the beautiful little book by A. van Helden, *Measuring the Universe*, University of Chicago Press, 1985, and in Nigel Henbest & Heather Cooper, *The Guide to the Galaxy*, Cambridge University Press, 1994. Cited on page 180.

139 A lot of details can be found in M. Jammer, *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*, reprinted by Dover, 1997, and in *Concepts of Force, a Study in the Foundations of Mechanics*, Harvard University Press, 1957. These eclectic and thoroughly researched texts provide numerous details and explain various philosophical viewpoints, but lack clear statements and conclusions on the accurate description of nature; thus are not of help on fundamental issues.

Jean Buridan (*c.* 1295 tới *c.* 1366) criticizes the distinction of sublunar and translunar motion in his book *De Caelo*, one of his numerous works. Cited on page 181.

140 D. Topper & D. E. Vincent, *An analysis of Newton's projectile diagram*, European Journal of Physics **20**, pp. 59–66, 1999. Cited on page 181.

141 The absurd story of the metre is told in the historical novel by Ken Alder, *The Measure of All Things : The Seven-Year Odyssey and Hidden Error that Transformed the World*, The Free Press, 2003. Cited on page 184.

142 H. Cavendish, *Experiments to determine the density of the Earth*, Philosophical Transactions of the Royal Society **88**, pp. 469–526, 1798. In fact, the first value of the gravitational constant G found in the literature is only from 1873, by Marie-Alfred Cornu and Jean-Baptistin Baille, who used an improved version of Cavendish's method. Cited on page 185.

143 About the measurement of spatial dimensions via gravity – and the failure to find any hint for a number different from three – see the review by E. G. Adelberger, B. R. Heckel & A. E. Nelson, *Tests of the gravitational inverse-square law*, Annual Review of Nuclear and Particle Science **53**, pp. 77–121, 2003, also arxiv.org/abs/hep-ph/0307284, or the review by J. A. Hewett & M. Spiropulu, *Particle physics probes of extra spacetime dimensions*, Annual Review of Nuclear and Particle Science **52**, pp. 397–424, 2002, arxiv.org/abs/hep-ph/0205106. Cited on page 189.

144 There are many books explaining the origin of the precise shape of the Earth, such as the pocket book S. Anders, *Weil die Erde rotiert*, Verlag Harri Deutsch, 1985. Cited on page 189.

145 The shape of the Earth is described most precisely with the World Geodetic System. For a presentation, see the en.wikipedia.org/wiki/World_Geodetic_System and www.dqts.net/wgs84.htm websites. See also the website of the *International Earth Rotation Service* at hpiers.obspm.fr. Cited on page 189.

146 G. Heckman & M. van Haandel, *De vele beweijzen van Kepler's wet over ellipsenbanen: een nieuwe voor 'het Boek'?*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **73**, pp. 366–368, November 2007. Cited on page 178.

147 W. K. Hartman, R. J. Phillips & G. J. Taylor, editors, *Origin of the Moon*, Lunar and Planetary Institute, 1986. Cited on page 192.

148 If you want to read about the motion of the Moon in all its fascinating details, have a look at Martin C. Gutzwiller, *Moon–Earth–Sun: the oldest three body problem*, Reviews of Modern Physics **70**, pp. 589–639, 1998. Cited on page 192.

149 Dietrich Neumann, *Physiologische Uhren von Insekten – Zur Ökophysiologie lunarperiodisch kontrollierter Fortpflanzungszeiten*, Naturwissenschaften **82**, pp. 310–320, 1995. Cited on page 192.

150 The origin of the duration of the menstrual cycle is not yet settled; however, there are explanations on how it becomes synchronized with other cycles. For a general explanation see Arkady Pikovsky, Michael Rosenblum & Jürgen Kurths, *Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Science*, Cambridge University Press, 2002. Cited on page 192.

151 J. Laskar, F. Joutel & P. Robutel, *Stability of the Earth's obliquity by the moon*, Nature **361**, pp. 615–617, 1993. However, the question is not completely settled, and other opinions exist. Cited on page 193.

152 Neil F. Comins, *What if the Moon Did not Exist? – Voyages to Earths that Might Have Been*, Harper Collins, 1993. Cited on page 193.

153 A recent proposal is M. Ćuk, D. P. Hamilton, S. J. Lock & S. T. Stewart, *Tidal evolution of the Moon from a high-obliquity, high-angular-momentum Earth*, Nature **539**, pp. 402–406, 2016. Cited on page 193.

154 M. Connors, C. Veillet, R. Brasser, P. A. Wiegert, P. W. Chodas, S. Mikkola & K. A. Innanen, *Discovery of Earth's quasi-satellite*, Meteoritics & Planetary Science **39**, pp. 1251–1255, 2004, and R. Brasser, K. A. Innanen, M. Connors, C. Veillet, P. A. Wiegert, S. Mikkola & P. W. Chodas, *Transient co-orbital asteroids*, Icarus **171**, pp. 102–109, 2004. See also the orbits frawn in M. Connors, C. Veillet, R. Brasser, P. A. Wiegert, P. W. Chodas, S. Mikkola & K. A. Innanen, *Horseshoe asteroids and quasi-satellites in Earth-like orbits*, Lunar and Planetary Science **35**, p. 1562, 2004„ preprint at www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2004/pdf/1565.pdf. Cited on page 196.

155 P. A. Wiegert, K. A. Innanen & S. Mikkola, *An asteroidal companion to the Earth*, Nature **387**, pp. 685–686, 12 June 1997, together with the comment on pp. 651–652. Details on the orbit and on the fact that Lagrangian points do not always form equilateral triangles can be found in F. Namouni, A. A. Christou & C. D. Murray, *Coorbital dynamics at large eccentricity and inclination*, Physical Review Letters **83**, pp. 2506–2509, 1999. Cited on page 196.

156 Simon Newcomb, Astronomical Papers of the American Ephemeris **1**, p. 472, 1882. Cited on page 196.

157 For an animation of the tides, have a look at www.jason.oceanobs.com/html/applications/marees/m2_atlantique_fr.html. Cited on page 197.

158 A beautiful introduction is the classic G. Falk & W. Ruppel, *Mechanik, Relativität, Gravitation – ein Lehrbuch*, Springer Verlag, Dritte Auflage, 1983. Cited on page 197.

159 J. Soldner, *Berliner Astronomisches Jahrbuch auf das Jahr 1804*, 1801, p. 161. Cited on page 202.

160 The equality was first tested with precision by R. von Eötvös, Annalen der Physik & Chemie **59**, p. 354, 1896, and by R. von Eötvös, V. Pekár, E. Fekete, *Beiträge zum Gesetz der Proportionalität von Trägheit und Gravität*, Annalen der Physik 4, Leipzig **68**, pp. 11–66, 1922. He found agreement to 5 parts in 10^9. More experiments were performed by P. G. Roll, R. Krotkow & R. H. Dicke, *The equivalence of inertial and passive gravitational mass*, Annals of Physics (NY) **26**, pp. 442–517, 1964, one of the most interesting and entertaining research articles in experimental physics, and by V. B. Braginsky & V. I. Panov, Soviet Physics – JETP **34**, pp. 463–466, 1971. Modern results, with errors

less than one part in 10^{12}, are by Y. Su & al., *New tests of the universality of free fall*, Physical Review **D50**, pp. 3614–3636, 1994. Several experiments have been proposed to test the equality in space to less than one part in 10^{16}. Cited on page 203.

161 H. Edelmann, R. Napiwotzki, U. Heber, N. Christlieb & D. Reimers, *HE 0437-5439: an unbound hyper-velocity B-type star*, The Astrophysical Journal **634**, pp. L181–L184, 2005. Cited on page 210.

162 This is explained for example by D.K. Firpić & I.V. Aniçin, *The planets, after all, may run only in perfect circles – but in the velocity space!*, European Journal of Physics **14**, pp. 255–258, 1993. Cited on pages 210 and 503.

163 See L. Hodges, *Gravitational field strength inside the Earth*, American Journal of Physics **59**, pp. 954–956, 1991. Cited on page 211.

164 The controversial argument is proposed in A. E. Chubykalo & S. J. Vlaev, *Theorem on the proportionality of inertial and gravitational masses in classical mechanics*, European Journal of Physics **19**, pp. 1–6, 1998, preprint at arXiv.org/abs/physics/9703031. This paper might be wrong; see the tough comment by B. Jancovici, European Journal of Physics **19**, p. 399, 1998, and the reply in arxiv.org/abs/physics/9805003. Cited on page 212.

165 P. Mohazzabi & M. C. James, *Plumb line and the shape of the Earth*, American Journal of Physics **68**, pp. 1038–1041, 2000. Cited on page 212.

166 From Neil de Gasse Tyson, *The Universe Down to Earth*, Columbia University Press, 1994. Cited on page 214.

167 G. D. Quinlan, *Planet X: a myth exposed*, Nature **363**, pp. 18–19, 1993. Cited on page 214.

168 See en.wikipedia.org/wiki/90377_Sedna. Cited on page 214.

169 See R. Matthews, *Not a snowball's chance ...*, New Scientist 12 July 1997, pp. 24–27. The original claim is by Louis A. Frank, J. B. Sigwarth & J. D. Craven, *On the influx of small comets into the Earth's upper atmosphere*, parts I and II, Geophysical Research Letters **13**, pp. 303–306, pp. 307–310, 1986. The latest observations have disproved the claim. Cited on page 215.

170 The ray form is beautifully explained by J. Evans, *The ray form of Newton's law of motion*, American Journal of Physics **61**, pp. 347–350, 1993. Cited on page 217.

171 This is a small example from the beautiful text by Mark P. Silverman, *And Yet It Moves: Strange Systems and Subtle Questions in Physics*, Cambridge University Press, 1993. It is a treasure chest for anybody interested in the details of physics. Cited on page 218.

172 G.-L. Lesage, *Lucrèce Newtonien*, Nouveaux mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles Lettres pp. 404–431, 1747, or www3.bbaw.de/bibliothek/digital/struktur/03-nouv/1782/jpg-0600/00000495.htm. See also en.wikipedia.org/wiki/Le_Sage's_theory_of_gravitation. In fact, the first to propose the idea of gravitation as a result of small particles pushing masses around was Nicolas Fatio de Duillier in 1688. Cited on page 219.

173 J. Laskar, *A numerical experiment on the chaotic behaviour of the solar system*, Nature **338**, pp. 237–238, 1989, and J. Laskar, *The chaotic motion of the solar system - A numerical estimate of the size of the chaotic zones*, Icarus **88**, pp. 266–291, 1990. The work by Laskar was later expanded by Jack Wisdom, using specially built computers, following only the planets, without taking into account the smaller objects. For more details, see G. J. Sussman & J. Wisdom, *Chaotic Evolution of the Solar System*, Science **257**, pp. 56–62, 1992. Today, such calculations can be performed on your home PC with computer code freely available on the internet. Cited on page 220.

174 B. Dubrulle & F. Graner, *Titius-Bode laws in the solar system. 1: Scale invariance explains everything*, Astronomy and Astrophysics **282**, pp. 262–268, 1994, and *Titius-Bode laws in the solar system. 2: Build your own law from disk models*, Astronomy and Astrophysics **282**, pp. 269--276, 1994. Cited on page 221.

175 M. Lecar, *Bode's Law*, Nature **242**, pp. 318–319, 1973, and M. Henon, *A comment on "The resonant structure of the solar system" by A.M. Molchanov*, Icarus **11**, pp. 93–94, 1969. Cited on page 221.

176 Cassius Dio, *Historia Romana*, *c.* 220, book 37, 18. For an English translation, see the site penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Roman/Texts/Cassius_Dio/37*.html. Cited on page 221.

177 See the beautiful paper A. J. Simoson, *Falling down a hole through the Earth*, Mathematics Magazine 77, pp. 171–188, 2004. See also A. J. Simoson, *The gravity of Hades*, 75, pp. 335–350, 2002. Cited on pages 223 and 505.

178 M. Bevis, D. Alsdorf, E. Kendrick, L. P. Fortes, B. Forsberg, R. Malley & J. Becker, *Seasonal fluctuations in the mass of the Amazon River system and Earth's elastic response*, Geophysical Research Letters **32**, p. L16308, 2005. Cited on page 223.

179 D. Hestenes, M. Wells & G. Swackhamer, *Force concept inventory*, Physics Teacher **30**, pp. 141–158, 1982. The authors developed tests to check the understanding of the concept of physical force in students; the work has attracted a lot of attention in the field of physics teaching. Cited on page 229.

180 For a general overview on friction, from physics to economics, architecture and organizational theory, see N. Åkerman, editor, *The Necessity of Friction – Nineteen Essays on a Vital Force*, Springer Verlag, 1993. Cited on page 234.

181 See M. Hirano, K. Shinjo, R. Kanecko & Y. Murata, *Observation of superlubricity by scanning tunneling microscopy*, Physical Review Letters **78**, pp. 1448–1451, 1997. See also the discussion of their results by Serge Fayeulle, *Superlubricity: when friction stops*, Physics World pp. 29–30, May 1997. Cited on page 234.

182 C. Donald Ahrens, *Meteorology Today: An Introduction to the Weather, Climate, and the Environment*, West Publishing Company, 1991. Cited on page 235.

183 This topic is discussed with lucidity by J. R. Mureika, *What really are the best 100 m performances?*, Athletics: Canada's National Track and Field Running Magazine, July 1997. It can also be found as arxiv.org/abs/physics/9705004, together with other papers on similar topics by the same author. Cited on page 235.

184 F. P. Bowden & D. Tabor, *The Friction and Lubrication of Solids*, Oxford University Press, Part I, revised edition, 1954, and part II, 1964. Cited on page 236.

185 A powerful book on human violence is James Gilligan, *Violence – Our Deadly Epidemic and its Causes*, Grosset/Putnam, 1992. Cited on page 236.

186 The main tests of randomness of number series – among them the gorilla test – can be found in the authoritative paper by G. Marsaglia & W. W. Tsang, *Some difficult-to-pass tests of randomness*, Journal of Statistical Software 7, p. 8, 2002. It can also be downloaded from www.jstatsoft.org/v07/i03. Cited on page 239.

187 See the interesting book on the topic by Jaroslaw Strzalko, Juliusz Grabski, Przemyslaw Perlikowski, Andrzeij Stefanski & Tomasz Kapitaniak, *Dynamics of Gambling: Origin of Randomness in Mechanical Systems*, Springer, 2009, as well as the more recent publications by Kapitaniak. Cited on page 239.

188 For one aspect on free will, see the captivating book by Bert Hellinger, *Zweierlei Glück*, Carl Auer Systeme Verlag, 1997. The author explains how to live serenely and with the

highest possible responsibility for one's actions, by reducing entanglements with the destiny of others. He describes a powerful technique to realise this goal.

A completely different viewpoint is given by AUNG SAN SUU KYI, *Freedom from Fear*, Penguin, 1991. One of the bravest women on Earth, she won the Nobel Peace Price in 1991.

An effective personal technique is presented by PHIL STUTZ & BARRY MICHELS, *The Tools*, Spiegel & Grau, 2012. Cited on page 241.

189 HENRIK WALTER, *Neurophilosophie der Willensfreiheit*, Mentis Verlag, Paderborn 1999. Also available in English translation. Cited on page 241.

190 GIUSEPPE FUMAGALLI, *Chi l'ha detto?*, Hoepli, 1983. Cited on page 242.

191 See the tutorial on the Peaucellier-Lipkin linkage by D.W. Henderson and D. Taimina found on kmoddl.library.cornell.edu/tutorials/11/index.php. The internet contains many other pages on the topic. Cited on page 243.

192 The beautiful story of the south-pointing carriage is told in Appendix B of JAMES FOSTER & J. D. NIGHTINGALE, *A Short Course in General Relativity*, Springer Verlag, 2nd edition, 1998. Such carriages have existed in China, as told by the great sinologist Joseph Needham, but their construction is unknown. The carriage described by Foster and Nightingale is the one reconstructed in 1947 by George Lancaster, a British engineer. Cited on page 244.

193 T. VAN DE KAMP, P. VAGOVIC, T. BAUMBACH & A. RIEDEL, *A biological screw in a beetle's leg*, Science **333**, p. 52, 2011. Cited on page 244.

194 M. BURROWS & G. P. SUTTON, *Interacting gears synchronise propulsive leg movements in a jumping insect*, Science **341**, pp. 1254–1256, 2013. Cited on page 244.

195 See for example Z. GHAHRAMANI, *Building blocks of movement*, Nature **407**, pp. 682–683, 2000. Researchers in robot control are also interested in such topics. Cited on page 244.

196 G. GUTIERREZ, C. FEHR, A. CALZADILLA & D. FIGUEROA, *Fluid flow up the wall of a spinning egg*, American Journal of Physics **66**, pp. 442–445, 1998. Cited on page 245.

197 A historical account is given in WOLFGANG YOURGRAY & STANLEY MANDELSTAM, *Variational Principles in Dynamics and Quantum Theory*, Dover, 1968. Cited on pages 248 and 256.

198 C. G. GRAY & E. F. TAYLOR, *When action is not least*, American Journal of Physics **75**, pp. 434–458, 2007. Cited on page 253.

199 MAX PÄSLER, *Prinzipe der Mechanik*, Walter de Gruyter & Co., 1968. Cited on page 254.

200 The relations between possible Lagrangians are explained by HERBERT GOLDSTEIN, *Classical Mechanics*, 2nd edition, Addison-Wesley, 1980. Cited on page 255.

201 The Hemingway statement is quoted by Marlene Dietrich in AARON E. HOTCHNER, *Papa Hemingway*, Random House, 1966, in part 1, chapter 1. Cited on page 256.

202 C. G. GRAY, G. KARL & V. A. NOVIKOV, *From Maupertius to Schrödinger. Quantization of classical variational principles*, American Journal of Physics **67**, pp. 959–961, 1999. Cited on page 257.

203 J. A. MOORE, *An innovation in physics instruction for nonscience majors*, American Journal of Physics **46**, pp. 607–612, 1978. Cited on page 257.

204 See e.g. ALAN P. BOSS, *Extrasolar planets*, Physics Today **49**, pp. 32–38. September 1996. The most recent information can be found at the 'Extrasolar Planet Encyclopaedia' maintained at www.obspm.fr/planets by Jean Schneider at the Observatoire de Paris. Cited on page 261.

205 A good review article is by DAVID W. HUGHES, *Comets and Asteroids*, Contemporary Physics **35**, pp. 75–93, 1994. Cited on page 261.

206 G. B. West, J. H. Brown & B. J. Enquist, *A general model for the origin of allometric scaling laws in biology*, Science **276**, pp. 122–126, 4 April 1997, with a comment on page 34 of the same issue. The rules governing branching properties of blood vessels, of lymph systems and of vessel systems in plants are explained. For more about plants, see also the paper G. B. West, J. H. Brown & B. J. Enquist, *A general model for the structure and allometry of plant vascular systems*, Nature **400**, pp. 664–667, 1999. Cited on page 263.

207 J. R. Banavar, A. Martin & A. Rinaldo, *Size and form in efficient transportation networks*, Nature **399**, pp. 130–132, 1999. Cited on page 263.

208 N. Moreira, *New striders - new humanoids with efficient gaits change the robotics landscape*, Science News Online 6th of August, 2005. Cited on page 264.

209 Werner Heisenberg, *Der Teil und das Ganze*, Piper, 1969. Cited on page 266.

210 See the clear presenttion by E. H. Lockwood & R. H. Macmillan, *Geometric Symmetry*, Cambridge University Press, 1978. Cited on page 266.

211 John Mansley Robinson, *An Introduction to Early Greek Philosophy*, Houghton Muffin 1968, chapter 5. Cited on page 270.

212 See e.g. B. Bower, *A child's theory of mind*, Science News **144**, pp. 40–41. Cited on page 271.

213 The most beautiful book on this topic is the text by Branko Grünbaum & G. C. Shephard, *Tilings and Patterns*, W.H. Freeman and Company, New York, 1987. It has been translated into several languages and republished several times. Cited on page 273.

214 About tensors and ellipsoids in three-dimensional space, see mysite.du.edu/~jcalvert/phys/ellipso.htm. In four-dimensional space-time, tensors are more abstract to comprehend. With emphasis on their applications in relativity, such tensors are explained in R. Frosch, *Four-tensors, the mother tongue of classical physics*, vdf Hochschulverlag, 2006, partly available on books.google.com. Cited on page 278.

215 U. Niederer, *The maximal kinematical invariance group of the free Schrödinger equation*, Helvetica Physica Acta **45**, pp. 802–810, 1972. See also the introduction by O. Jahn & V. V. Sreedhar, *The maximal invariance group of Newton's equations for a free point particle*, arxiv.org/abs/math-ph/0102011. Cited on page 279.

216 The story is told in the interesting biography of Einstein by A. Pais, *'Subtle is the Lord...' – The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford University Press, 1982. Cited on page 280.

217 W. Zürn & R. Widmer-Schnidrig, *Globale Eigenschwingungen der Erde*, Physik Journal **1**, pp. 49–55, 2002. Cited on page 290.

218 N. Gauthier, *What happens to energy and momentum when two oppositely-moving wave pulses overlap?*, American Journal of Physics **71**, pp. 787–790, 2003. Cited on page 300.

219 An informative and modern summary of present research about the ear and the details of its function is www.physicsweb.org/article/world/15/5/8. Cited on page 303.

220 A renowned expert of the physics of singing is Ingo Titze. Among his many books and papers is the popular introduction I. R. Titze, *The human instrument*, Scientific American pp. 94–101, January 2008. Several of his books, papers and presentation are free to download on the website www.ncvs.org of the National Center of Voice & Speech. They are valuable to everybody who has a passion for singing and the human voice. See also the article and sound clips at www.scientificamerican.com/article.cfm?id=sound-clips-human-instrument. An interesting paper is also M. Kob & al., *Analysing and understanding the singing voice: recent progress and open questions*, Current Bioinformatics **6**, pp. 362–374, 2011. Cited on page 307.

221 S. Adachi, *Principles of sound production in wind instruments*, Acoustical Science and Technology **25**, pp. 400–404, 2004. Cited on page 309.

222 The literature on tones and their effects is vast. For example, people have explored the differences and effects of various intonations in great detail. Several websites, such as bellsouthpwp.net/j/d/jdelaub/jstudio.htm, allow listening to music played with different intonations. People have even researched whether animals use just or chromatic intonation. (See, for example, K. Leutwyler, *Exploring the musical brain*, Scientific American January 2001.) There are also studies of the effects of low frequencies, of beat notes, and of many other effects on humans. However, many studies mix serious and non-serious arguments. It is easy to get lost in them. Cited on page 310.

223 M. Fatemi, P. L. Ogburn & J. F. Greenleaf, *Fetal stimulation by pulsed diagnostic ultrasound*, Journal of Ultrasound in Medicine **20**, pp. 883–889, 2001. See also M. Fatemi, A. Alizad & J. F. Greenleaf, *Characteristics of the audio sound generated by ultrasound imaging systems*, Journal of the Acoustical Society of America **117**, pp. 1448–1455, 2005. Cited on page 313.

224 I know a female gynecologist who, during her own pregnancy, imaged her child *every day* with her ultrasound machine. The baby was born with strong hearing problems that did not go away. Cited on page 313.

225 R. Mole, *Possible hazards of imaging and Doppler ultrasound in obstetrics*, Birth Issues in Perinatal Care **13**, pp. 29–37, 2007. Cited on page 313.

226 A. L. Hodgkin & A. F. Huxley, *A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve*, Journal of Physiology **117**, pp. 500–544, 1952. This famous paper of theoretical biology earned the authors the Nobel Prize in Medicine in 1963. Cited on page 314.

227 T. Filippov, *The Versatile Soliton*, Springer Verlag, 2000. See also J. S. Russel, *Report of the Fourteenth Meeting of the British Association for the Advancement of Science*, Murray, London, 1844, pp. 311–390. Cited on pages 316 and 317.

228 R. S. Ward, *Solitons and other extended field configurations*, preprint at arxiv.org/abs/hep-th/0505135. Cited on page 317.

229 D. B. Bahr, W. T. Pfeffer & R. C. Browning, *The surprising motion of ski moguls*, Physics Today **62**, pp. 68–69, November 2009. Cited on page 319.

230 N. J. Zabusky & M. D. Kruskal, *Interaction of solitons in a collisionless plasma and the recurrence of initial states*, Physical Review Letters **15**, pp. 240–243, 1965. Cited on page 317.

231 O. Muskens, *De kortste knal ter wereld*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde pp. 70–73, 2005. Cited on page 317.

232 E. Heller, *Freak waves: just bad luck, or avoidable?*, Europhysics News pp. 159–161, September/October 2005, downloadable at www.europhysicsnews.org. Cited on page 320.

233 See the beautiful article by D. Aarts, M. Schmidt & H. Lekkerkerker, *Directe visuele waarneming van thermische capillaire golven*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **70**, pp. 216–218, 2004. Cited on page 320.

234 For more about the ocean sound channel, see the novel by Tom Clancy, *The Hunt for Red October*. See also the physics script by R. A. Muller, *Government secrets of the oceans, atmosphere, and UFOs*, web.archive.org/web/*/muller.lbl.gov/teaching/Physics10/chapters/9-SecretsofUFOs.html 2001. Cited on page 322.

235 B. Wilson, R. S. Batty & L. M. Dill, *Pacific and Atlantic herring produce burst pulse sounds*, Biology Letters **271**, number S3, 7 February 2004. Cited on page 322.

236 A. Chabchoub & M. Fink, *Time-reversal generation of rogue Wwaves*, Physical Review Letters **112**, p. 124101, 2014, preprint at arxiv.org/abs/1311.2990. See also the cited references. Cited on page 323.

237 See for example the article by G. Fritsch, *Infraschall*, Physik in unserer Zeit **13**, pp. 104–110, 1982. Cited on page 325.

238 Wavelet transformations were developed by the French mathematicians Alex Grossmann, Jean Morlet and Thierry Paul. The basic paper is A. Grossmann, J. Morlet & T. Paul, *Integral transforms associated to square integrable representations*, Journal of Mathematical Physics **26**, pp. 2473–2479, 1985. For a modern introduction, see Stéphane Mallat, *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, 1999. Cited on page 325.

239 P. Manogg, *Knall und Superknall beim Überschallflug*, Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht **35**, pp. 26–33, 1982, my physics teacher in secondary school. Cited on page 326.

240 See the excellent introduction by L. Ellerbreok & L. van den Hoorn, *In het kielzog van Kelvin*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **73**, pp. 310–313, 2007. About exceptions to the Kelvin angle, see www.graingerdesigns.net/oshunpro/design-technology/wave-cancellation. Cited on page 328.

241 Jay Ingram, *The Velocity of Honey - And More Science of Everyday Life*, Viking, 2003. See also W. W. L. Au & J. A. Simmons, *Echolocation in dolphins and bats*, Physics Today **60**, pp. 40–45, 2007. Cited on page 328.

242 M. Boiti, J. -P. Leon, L. Martina & F. Pempinelli, *Scattering of localized solitons in the plane*, Physics Letters A **132**, pp. 432–439, 1988, A. S. Fokas & P. M. Santini, *Coherent structures in multidimensions*, Physics Review Letters **63**, pp. 1329–1333, 1989, J. Hietarinta & R. Hirota, *Multidromion solutions to the Davey–Stewartson equation*, Physics Letters A **145**, pp. 237–244, 1990. Cited on page 328.

243 For some of this fascinating research, see J. L. Hammack, D. M. Henderson & H. Segur, *Progressive waves with persistent two-dimensional surface patterns in deep water*, Journal of Fluid Mechanics **532**, pp. 1–52, 2005. For a beautiful photograph of crossing cnoidal waves, see A. R. Osborne, *Hyperfast Modeling of Shallow-Water Waves: The KdV and KP Equations*, International Geophysics **97**, pp. 821–856, 2010. See also en.wikipedia.org/wiki/Waves_and_shallow_water, en.wikipedia.org/wiki/Cnoidal_wave and en.wikipedia.org/wiki/Tidal_bore for a first impression. Cited on page 328.

244 The sound frequency change with bottle volume is explained on hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/Waves/cavity.html. Cited on page 329.

245 A passionate introduction is Neville H. Fletcher & Thomas D. Rossing, *The Physics of Musical Instruments*, second edition, Springer 2000. Cited on page 329.

246 M. Ausloos & D. H. Berman, *Multivariate Weierstrass–Mandelbrot function*, Proceedings of the Royal Society in London A **400**, pp. 331–350, 1985. Cited on page 332.

247 Catechism of the Catholic Church, Part Two, Section Two, Chapter One, Article 3, statements 1376, 1377 and 1413, found at www.vatican.va/archive/ENG0015/__P41.HTM or www.vatican.va/archive/ITA0014/__P40.HTM with their explanations on www.vatican.va/archive/compendium_ccc/documents/archive_2005_compendium-ccc_en.html and www.vatican.va/archive/compendium_ccc/documents/archive_2005_compendium-ccc_it.html. Cited on page 335.

248 The original text of the 1633 conviction of Galileo can be found on it.wikisource.org/wiki/Sentenza_di_condanna_di_Galileo_Galilei. Cited on page 335.

249 The retraction that Galileo was forced to sign in 1633 can be found on it.wikisource.org/wiki/Abiura_di_Galileo_Galilei. Cited on page 335.

250 M. Artigas, *Un nuovo documento sul caso Galileo: EE 291*, Acta Philosophica **10**, pp. 199–214, 2001. Cited on page 336.

251 Most of these points are made, directly or indirectly, in the book by Annibale Fantoli, *Galileo: For Copernicanism and for the Church*, Vatican Observatory Publications, second edition, 1996, and by George Coyne, director of the Vatican observatory, in his speeches and publications, for example in G. Coyne, *Galileo: for Copernicanism and for the church*, Zwoje 3/36, 2003, found at www.zwoje-scrolls.com/zwoje36/text05p.htm. Cited on page 336.

252 Thomas A. McMahon & John T. Bonner, *On Size and Life*, Scientific American/Freeman, 1983. Another book by John Bonner, who won the Nobel Prize in Biology, is John T. Bonner, *Why Size Matters: From Bacteria to Blue Whales*, Princeton University Press, 2011. Cited on page 337.

253 G. W. Koch, S. C. Sillett, G. M. Jennings & S. D. Davis, *The limits to tree height*, Nature **428**, pp. 851–854, 2004. Cited on page 337.

254 A simple article explaining the tallness of trees is A. Mineyev, *Trees worthy of Paul Bunyan*, Quantum pp. 4–10, January–February 1994. (Paul Bunyan is a mythical giant lumberjack who is the hero of the early frontier pioneers in the United States.) Note that the transport of liquids in trees sets no limits on their height, since water is pumped up along tree stems (except in spring, when it is pumped up from the roots) by evaporation from the leaves. This works almost without limits because water columns, when nucleation is carefully avoided, can be put under tensile stresses of over 100 bar, corresponding to 1000 m. See also P. Nobel, *Plant Physiology*, Academic Press, 2nd Edition, 1999. An artificial tree – though extremely small – using the same mechanism was built and studied by T. D. Wheeler & A. D. Stroock, *The transpiration of water at negative pressures in a synthetic tree*, Nature **455**, pp. 208–212, 2008. See also N. M. Holbrook & M. A. Zwieniecki, *Transporting water to the top of trees*, Physics Today pp. 76–77, 2008. Cited on pages 337 and 358.

255 Such information can be taken from the excellent overview article by M. F. Ashby, *On the engineering properties of materials*, Acta Metallurgica **37**, pp. 1273–1293, 1989. The article explains the various general criteria which determine the selection of materials, and gives numerous tables to guide the selection. Cited on page 337.

256 See the beautiful paper by S. E. Virgo, *Loschmidt's number*, Science Progress **27**, pp. 634–649, 1933. It is also freely available in HTML format on the internet. Cited on pages 340 and 341.

257 See the delightful paper by Peter Pesic, *Estimating Avogadro's number from skylight and airlight*, European Journal of Physics **26**, pp. 183–187, 2005. The mistaken statement that the blue colour is due to density fluctuations is dispelled in C. F. Bohren & A. B. Fraser, *Color of the Sky*, Physics Teacher **238**, pp. 267–272, 1985. It also explains that the variations of the sky colour, like the colour of milk, are due to multiple scattering. Cited on pages 340 and 512.

258 For a photograph of a single barium *atom* – named Astrid – see Hans Dehmelt, *Experiments with an isolated subatomic particle at rest*, Reviews of Modern Physics **62**, pp. 525–530, 1990. For another photograph of a barium *ion*, see W. Neuhauser, M. Hohenstatt, P. E. Toschek & H. Dehmelt, *Localized visible* Ba^+ *mono-ion oscillator*, Physical Review A **22**, pp. 1137–1140, 1980. See also the photograph on Trang 343. Cited on page 342.

259 Holograms of atoms were first produced by Hans-Werner Fink & al., *Atomic resolution in lens-less low-energy electron holography*, Physical Review Letters **67**, pp. 1543–1546, 1991. Cited on page 342.

260 A single–atom laser was built in 1994 by K. An, J. J. Childs, R. R. Dasari & M. S. Feld, *Microlaser: a laser with one atom in an optical resonator*, Physical Review Letters **73**, p. 3375, 1994. Cited on page 342.

261 The photograph on the left of Hình 240 on Trang 344 is the first image that showed subatomic structures (visible as shadows on the atoms). It was published by F. J. Giessibl, S. Hembacher, H. Bielefeldt & J. Mannhart, *Subatomic features on the silicon (111)-(7x7) surface observed by atomic force microscopy*, Science **289**, pp. 422 – 425, 2000. Cited on page 343.

262 See for example C. Schiller, A. A. Koomans, T. L. van Rooy, C. Schönenberger & H. B. Elswijk, *Decapitation of tungsten field emitter tips during sputter sharpening*, Surface Science Letters **339**, pp. L925–L930, 1996. Cited on page 343.

263 U. Weierstall & J. C. H. Spence, *An STM with time-of-flight analyzer for atomic species identification*, MSA 2000, Philadelphia, Microscopy and Microanalysis **6**, Supplement 2, p. 718, 2000. Cited on page 344.

264 P. Krehl, S. Engemann & D. Schwenkel, *The puzzle of whip cracking – uncovered by a correlation of whip-tip kinematics with shock wave emission*, Shock Waves **8**, pp. 1–9, 1998. The authors used high-speed cameras to study the motion of the whip. A new aspect has been added by A. Goriely & T. McMillen, *Shape of a cracking whip*, Physical Review Letters **88**, p. 244301, 2002. This article focuses on the tapered shape of the whip. However, the neglection of the tuft – a piece at the end of the whip which is required to make it crack – in the latter paper shows that there is more to be discovered still. Cited on page 348.

265 Z. Sheng & K. Yamafuji, *Realization of a Human Riding a Unicycle by a Robot*, *Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1319–1326, 1995. Cited on page 349.

266 On human unicycling, see Jack Wiley, *The Complete Book of Unicycling*, Lodi, 1984, and Sebastian Hoeher, *Einradfahren und die Physik*, Reinbeck, 1991. Cited on page 349.

267 W. Thomson, *Lecture to the Royal Society of Edinburgh*, 18 February 1867, Proceedings of the Royal Society in Edinborough **6**, p. 94, 1869. Cited on page 350.

268 S. T. Thoroddsen & A. Q. Shen, *Granular jets*, Physics of Fluids **13**, pp. 4–6, 2001, and A. Q. Shen & S. T. Thoroddsen, *Granular jetting*, Physics of Fluids **14**, p. S3, 2002, Cited on page 350.

269 M. J. Hancock & J. W. M. Bush, *Fluid pipes*, Journal of Fluid Mechanics **466**, pp. 285–304, 2002. A. E. Hosoi & J. W. M. Bush, *Evaporative instabilities in climbing films*, Journal of Fluid Mechanics **442**, pp. 217–239, 2001. J. W. M. Bush & A. E. Hasha, *On the collision of laminar jets: fluid chains and fishbones*, Journal of Fluid Mechanics **511**, pp. 285–310, 2004. Cited on page 353.

270 The present record for negative pressure in water was achieved by Q. Zheng, D. J. Durben, G. H. Wolf & C. A. Angell, *Liquids at large negative pressures: water at the homogeneous nucleation limit*, Science **254**, pp. 829–832, 1991. Cited on page 358.

271 H. Maris & S. Balibar, *Negative pressures and cavitation in liquid helium*, Physics Today **53**, pp. 29–34, 2000. Sebastien Balibar has also written several popular books that are presented at his website www.lps.ens.fr/~balibar. Cited on page 358.

272 The present state of our understanding of turbulence is described by G. Falkovich & K. P. Sreenivasan, *Lessons from hydrodynamic turbulence*, Physics Today **59**, pp. 43–49,

2006. Cited on page 362.

273 K. Weltner, *A comparison of explanations of aerodynamical lifting force*, American Journal of Physics **55**, pp. 50–54, 1987, K. Weltner, *Aerodynamic lifting force*, The Physics Teacher **28**, pp. 78–82, 1990. See also the user.uni-frankfurt.de/~weltner/Flight/PHYSIC4.htm and the www.av8n.com/how/htm/airfoils.html websites. Cited on page 362.

274 L. Lanotte, J. Mauer, S. Mendez, D. A. Fedosov, J.-M. Fromental, V. Claveria, F. Nicoud, G. Gompper & M. Abkarian, *Red cells' dynamic morphologies govern blood shear thinning under microcirculatory flow conditions*, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 2016, preprint at arxiv.org/abs/1608.03730. Cited on page 367.

275 S. Gekle, I. R. Peters, J. M. Gordillo, D. van der Meer & D. Lohse, *Supersonic air flow due to solid-liquid impact*, Physical Review Letters **104**, p. 024501, 2010. Films of the effect can be found at physics.aps.org/articles/v3/4. Cited on page 369.

276 See the beautiful book by Rainer F. Foelix, *Biologie der Spinnen*, Thieme Verlag, 1996, also available in an even newer edition in English as Rainer F. Foelix, *Biology of Spiders*, Oxford University Press, third edition, 2011. Special fora dedicated only to spiders can be found on the internet. Cited on page 369.

277 See the website www.esa.int/esaCP/SEMER89U7TG_index_0.html. Cited on page 370.

278 For a fascinating account of the passion and the techniques of apnoea diving, see Umberto Pelizzari, *L'Homme et la mer*, Flammarion, 1994. Palizzari cites and explains the saying by Enzo Maiorca: 'The first breath you take when you come back to the surface is like the first breath with which you enter life.' Cited on page 370.

279 Lydéric Bocquet, *The physics of stone skipping*, American Journal of Physics **17**, pp. 150–155, 2003. The present recod holder is Kurt Steiner, with 40 skips. See pastoneskipping.com/steiner.htm and www.stoneskipping.com. The site www.yeeha.net/nassa/guin/g2.html is by the a previous world record holder, Jerdome Coleman-McGhee. Cited on page 372.

280 S. F. Kistler & L. E. Scriven, *The teapot effect: sheetforming flows with deflection, wetting, and hysteresis*, Journal of Fluid Mechanics **263**, pp. 19–62, 1994. Cited on page 375.

281 J. Walker, *Boiling and the Leidenfrost effect*, a chapter from David Halliday, Robert Resnick & Jearl Walker, *Fundamentals of Physics*, Wiley, 2007. The chapter can also be found on the internet as pdf file. Cited on page 376.

282 E. Hollander, *Over trechters en zo ...*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **68**, p. 303, 2002. Cited on page 377.

283 S. Dorbolo, H. Caps & N. Vandewalle, *Fluid instabilities in the birth and death of antibubbles*, New Journal of Physics **5**, p. 161, 2003. Cited on page 377.

284 T. T. Lim, *A note on the leapfrogging between two coaxial vortex rings at low Reynolds numbers*, Physics of Fluids **9**, pp. 239–241, 1997. Cited on page 379.

285 P. Aussillous & D. Quéré, *Properties of liquid marbles*, Proc. Roy. Soc. London **462**, pp. 973–999, 2006, and references therein. Cited on page 379.

286 Thermostatics and thermodynamics are difficult to learn also because the fields were not discovered in a systematic way. See C. Truesdell, *The Tragicomical History of Thermodynamics 1822–1854*, Springer Verlag, 1980. An excellent advanced textbook on thermostatics and thermodynamics is Linda Reichl, *A Modern Course in Statistical Physics*, Wiley, 2nd edition, 1998. Cited on page 382.

287 Gas expansion was the main method used for the definition of the official temperature scale. Only in 1990 were other methods introduced officially, such as total radiation thermometry

(in the range 140 K to 373 K), noise thermometry (2 K to 4 K and 900 K to 1235 K), acoustical thermometry (around 303 K), magnetic thermometry (0.5 K to 2.6 K) and optical radiation thermometry (above 730 K). Radiation thermometry is still the central method in the range from about 3 K to about 1000 K. This is explained in detail in R. L. Rusby, R. P. Hudson, M. Durieux, J. F. Schooley, P. P. M. Steur & C. A. Swenson, *The basis of the ITS-90*, Metrologia **28**, pp. 9–18, 1991. On the water boiling point see also Xem 315. Cited on pages 384, 548, and 552.

288 Other methods to rig lottery draws made use of balls of different mass or of balls that are more polished. One example of such a scam was uncovered in 1999. Cited on page 383.

289 See for example the captivating text by Gino Segrè, *A Matter of Degrees: What Temperature Reveals About the Past and Future of Our Species, Planet and Universe*, Viking, New York, 2002. Cited on page 384.

290 D. Karstädt, F. Pinno, K.-P. Möllmann & M. Vollmer, *Anschauliche Wärmelehre im Unterricht: ein Beitrag zur Visualisierung thermischer Vorgänge*, Praxis der Naturwissenschaften Physik **5-48**, pp. 24–31, 1999, K.-P. Möllmann & M. Vollmer, *Eine etwas andere, physikalische Sehweise - Visualisierung von Energieumwandlungen und Strahlungsphysik für die (Hochschul-)lehre*, Physikalische Bllätter **56**, pp. 65–69, 2000, D. Karstädt, K.-P. Möllmann, F. Pinno & M. Vollmer, *There is more to see than eyes can detect: visualization of energy transfer processes and the laws of radiation for physics education*, The Physics Teacher **39**, pp. 371–376, 2001, K.-P. Möllmann & M. Vollmer, *Infrared thermal imaging as a tool in university physics education*, European Journal of Physics **28**, pp. S37–S50, 2007. Cited on page 386.

291 See for example the article by H. Preston-Thomas, *The international temperature scale of 1990 (ITS-90)*, Metrologia **27**, pp. 3–10, 1990, and the errata H. Preston-Thomas, *The international temperature scale of 1990 (ITS-90)*, Metrologia **27**, p. 107, 1990, Cited on page 390.

292 For an overview, see Christian Enss & Siegfried Hunklinger, *Low-Temperature Physics*, Springer, 2005. Cited on page 390.

293 The famous paper on Brownian motion which contributed so much to Einstein's fame is A. Einstein, *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*, Annalen der Physik **17**, pp. 549–560, 1905. In the following years, Einstein wrote a series of further papers elaborating on this topic. For example, he published his 1905 Ph.D. thesis as A. Einstein, *Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen*, Annalen der Physik **19**, pp. 289–306, 1906, and he corrected a small mistake in A. Einstein, *Berichtigung zu meiner Arbeit: 'Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen'*, Annalen der Physik **34**, pp. 591–592, 1911, where, using new data, he found the value $6.6 \cdot 10^{23}$ for Avogadro's number. However, five years before Smoluchowski and Einstein, a much more practically-minded man had made the *same* calculations, but in a different domain: the mathematician Louis Bachelier did so in his PhD about stock options; this young financial analyst was thus smarter than Einstein. Cited on page 391.

294 The first experimental confirmation of the prediction was performed by J. Perrin, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences **147**, pp. 475–476, and pp. 530–532, 1908. He masterfully sums up the whole discussion in Jean Perrin, *Les atomes*, Librarie Félix Alcan, Paris, 1913. Cited on page 393.

295 Pierre Gaspard & al., *Experimental evidence for microscopic chaos*, Nature **394**, p. 865, 27 August 1998. Cited on page 393.

296 An excellent introduction into the physics of heat is the book by LINDA REICHL, *A Modern Course in Statistical Physics*, Wiley, 2nd edition, 1998. Cited on page 394.

297 On the bicycle speed record, see the website fredrompelberg.com. It also shows details of the bicycle he used. On the drag effect of a motorbike behind a bicycle, see B. BLOCKEN, Y. TOPARLAR & T. ANDRIANNE, *Aerodynamic benefit for a cyclist by a following motorcycle*, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 2016, available for free download at www.urbanphysics.net. Cited on page 380.

298 F. HERRMANN, *Mengenartige Größen im Physikunterricht*, Physikalische Blätter **54**, pp. 830–832, September 1998. See also his lecture notes on general introductory physics on the website www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/skripten. Cited on pages 231, 355, and 395.

299 These points are made clearly and forcibly, as is his style, by N.G. VAN KAMPEN, *Entropie*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **62**, pp. 395–396, 3 December 1996. Cited on page 397.

300 This is a disappointing result of all efforts so far, as Grégoire Nicolis always stresses in his university courses. Seth Lloyd has compiled a list of 31 proposed definitions of complexity, containing among others, fractal dimension, grammatical complexity, computational complexity, thermodynamic depth. See, for example, a short summary in Scientific American p. 77, June 1995. Cited on page 398.

301 Minimal entropy is discussed by L. SZILARD, *Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen*, Zeitschrift für Physik **53**, pp. 840–856, 1929. This classic paper can also be found in English translation in his collected works. Cited on page 398.

302 G. COHEN-TANNOUDJI, *Les constantes universelles*, Pluriel, Hachette, 1998. See also L. BRILLOUIN, *Science and Information Theory*, Academic Press, 1962. Cited on pages 398 and 399.

303 H. W. ZIMMERMANN, *Particle entropies and entropy quanta IV: the ideal gas, the second law of thermodynamics, and the P-t uncertainty relation*, Zeitschrift für physikalische Chemie **217**, pp. 55–78, 2003, and H. W. ZIMMERMANN, *Particle entropies and entropy quanta V: the P-t uncertainty relation*, Zeitschrift für physikalische Chemie **217**, pp. 1097–1108, 2003. Cited on pages 398 and 399.

304 See for example A. E. SHALYT-MARGOLIN & A. YA. TREGUBOVICH, *Generalized uncertainty relation in thermodynamics*, arxiv.org/abs/gr-qc/0307018, or J. UFFINK & J. VAN LITH-VAN DIS, *Thermodynamic uncertainty relations*, Foundations of Physics **29**, p. 655, 1999. Cited on page 398.

305 B. LAVENDA, *Statistical Physics: A Probabilistic Approach*, Wiley-Interscience, 1991. Cited on page 399.

306 The quote given is found in the introduction by George Wald to the text by LAWRENCE J. HENDERSON, *The Fitness of the Environment*, Macmillan, New York, 1913, reprinted 1958. Cited on page 399.

307 A fascinating introduction to chemistry is the text by JOHN EMSLEY, *Molecules at an Exhibition*, Oxford University Press, 1998. Cited on page 400.

308 B. POLSTER, *What is the best way to lace your shoes?*, Nature **420**, p. 476, 5 December 2002. Cited on page 401.

309 L. BOLTZMANN, *Über die mechanische Bedeutung des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie*, Sitzungsberichte der königlichen Akademie der Wissenschaften in Wien **53**, pp. 155–220, 1866. Cited on page 402.

310 See for example, the web page www.snopes.com/science/cricket.asp. Cited on page 405.

311 H. de Lang, *Moleculaire gastronomie*, Nederlands tijdschrift voor natuurkunde **74**, pp. 431–433, 2008. Cited on page 405.

312 Emile Borel, *Introduction géométrique à la physique*, Gauthier-Villars, 1912. Cited on page 405.

313 See V. L. Telegdi, *Enrico Fermi in America*, Physics Today **55**, pp. 38–43, June 2002. Cited on page 406.

314 K. Schmidt-Nielsen, *Desert Animals: Physiological Problems of Heat and Water*, Oxford University Press, 1964. Cited on page 407.

315 Following a private communication by Richard Rusby, this is the value of 1997, whereas it was estimated as 99.975°C in 1989, as reported by Gareth Jones & Richard Rusby, *Official: water boils at 99.975°C*, Physics World **2**, pp. 23–24, September 1989, and R. L. Rusby, *Ironing out the standard scale*, Nature **338**, p. 1169, March 1989. For more details on temperature measurements, see Xem 287. Cited on pages 407 and 546.

316 Why entropy is created when information is erased, but not when it is acquired, is explained in C. H. Bennett & R. Landauer, *Fundamental Limits of Computation*, Scientific American **253:1**, pp. 48–56, 1985. The conclusion: we should pay to throw the newspaper away, not to buy it. Cited on page 408.

317 See, for example, G. Swift, *Thermoacoustic engines and refrigerators*, Physics Today **48**, pp. 22–28, July 1995. Cited on page 411.

318 Quoted in D. Campbell, J. Crutchfield, J. Farmer & E. Jen, *Experimental mathematics: the role of computation in nonlinear science*, Communications of the Association of Computing Machinery **28**, pp. 374–384, 1985. Cited on page 414.

319 For more about the shapes of snowflakes, see the famous book by W. A. Bentley & W. J. Humphreys, *Snow Crystals*, Dover Publications, New York, 1962. This second printing of the original from 1931 shows a large part of the result of Bentley's lifelong passion, namely several thousand photographs of snowflakes. Cited on page 414.

320 K. Schwenk, *Why snakes have forked tongues*, Science **263**, pp. 1573–1577, 1994. Cited on page 418.

321 Human hands do not have five fingers in around 1 case out of 1000. How does nature ensure this constancy? The detailed mechanisms are not completely known yet. It is known, though, that a combination of spatial and temporal self-organization during cell proliferation and differentiation in the embryo is the key factor. In this self-regulating system, the GLI3 transcription factor plays an essential role. Cited on page 418.

322 E. Martínez, C. Pérez-Penichet, O. Sotolongo-Costa, O. Ramos, K.J. Måløy, S. Douady, E. Altshuler, *Uphill solitary waves in granular flows*, Physical Review **75**, p. 031303, 2007, and E. Altshuler, O. Ramos, E. Martínez, A. J. Batista-Leyva, A. Rivera & K. E. Bassler, *Sandpile formation by revolving rivers*, Physical Review Letters **91**, p. 014501, 2003. Cited on page 420.

323 P. B. Umbanhowar, F. Melo & H. L. Swinney, *Localized excitations in a vertically vibrated granular layer*, Nature **382**, pp. 793–796, 29 August 1996. Cited on page 420.

324 D. K. Campbell, S. Flach & Y. S. Kivshar, *Localizing energy through nonlinearity and discreteness*, Physics Today **57**, pp. 43–49, January 2004. Cited on page 420.

325 B. Andreotti, *The song of dunes as a wave-particle mode locking*, Physical Review Letters **92**, p. 238001, 2004. Cited on page 421.

326 D.C. Mays & B.A. Faybishenko, *Washboards in unpaved highways as a complex dynamic system*, Complexity **5**, pp. 51–60, 2000. See also N. Taberlet, S.W. Morris & J.N. McElwaine, *Washboard road: the dynamics of granular ripples formed by rolling wheels*, Physical Review Letters **99**, p. 068003, 2007. Cited on pages 421 and 560.

327 K. Kötter, E. Goles & M. Markus, *Shell structures with 'magic numbers' of spheres in a swirled disk*, Physical Review E **60**, pp. 7182–7185, 1999. Cited on page 421.

328 A good introduction is the text by Daniel Walgraef, *Spatiotemporal Pattern Formation, With Examples in Physics, Chemistry and Materials Science*, Springer 1996. Cited on page 422.

329 For an overview, see the Ph.D. thesis by Joceline Lega, *Défauts topologiques associés à la brisure de l'invariance de translation dans le temps*, Université de Nice, 1989. Cited on page 423.

330 An idea of the fascinating mechanisms at the basis of the heart beat is given by A. Babloyantz & A. Destexhe, *Is the normal heart a periodic oscillator?*, Biological Cybernetics **58**, pp. 203–211, 1989. Cited on page 424.

331 For a short, modern overview of turbulence, see L.P. Kadanoff, *A model of turbulence*, Physics Today **48**, pp. 11–13, September 1995. Cited on page 425.

332 For a clear introduction, see T. Schmidt & M. Mahrl, *A simple mathematical model of a dripping tap*, European Journal of Physics **18**, pp. 377–383, 1997. Cited on page 425.

333 The mathematics of fur patterns has been studied in great detail. By varying parameters in reaction–diffusion equations, it is possible to explain the patterns on zebras, leopards, giraffes and many other animals. The equations can be checked by noting, for eyample, how the calculated patterns continue on the tail, which usually looks quite different. In fact, most patterns look differently if the fur is not flat but curved. This is a general phenomenon, valid also for the spot patterns of ladybugs, as shown by S.S. Liaw, C.C. Yang, R.T. Liu & J.T. Hong, *Turing model for the patterns of lady beetles*, Physical Review E **64**, p. 041909, 2001. Cited on page 425.

334 An overview of science humour can be found in the famous anthology compiled by R.L. Weber, edited by E. Mendoza, *A Random Walk in Science*, Institute of Physics, 1973. It is also available in several expanded translations. Cited on page 426.

335 W. Dreybrodt, *Physik von Stalagmiten*, Physik in unserer Zeit pp. 25–30, Physik in unserer Zeit February 2009. Cited on page 426.

336 K. Mertens, V. Putkaradze & P. Vorobieff, *Braiding patterns on an inclined plane*, Nature **430**, p. 165, 2004. Cited on page 426.

337 These beautifully simple experiments were published in G. Müller, *Starch columns: analog model for basalt columns*, Journal of Geophysical Research **103**, pp. 15239–15253, 1998, in G. Müller, *Experimental simulation of basalt columns*, Journal of Volcanology and Geothermal Research **86**, pp. 93–96, 1998, and in G. Müller, *Trocknungsrisse in Stärke*, Physikalische Blätter **55**, pp. 35–37, 1999. Cited on page 428.

338 To get a feeling for viscosity, see the fascinating text by Steven Vogel, *Life in Moving Fluids: the Physical Biology of Flow*, Princeton University Press, 1994. Cited on page 428.

339 B. Hof, C.W.H. van Doorne, J. Westerweel, F.T.M. Nieuwstadt, H. Wedin, R. Kerswell, F. Waleffe, H. Faisst & B. Eckhardt, *Experimental observation of nonlinear traveling waves in turbulent pipe flow*, Science **305**, pp. 1594–1598, 2004. See also B. Hof & al., *Finite lifetime of turbulence in shear flows*, Nature **443**, p. 59, 2006. Cited on page 428.

340 A fascinating book on the topic is Kenneth Laws & Martha Swope, *Physics and the Art of Dance: Understanding Movement*, Oxford University Press 2002. See also Kenneth Laws & M. Lott, *Resource Letter PoD-1: The Physics of Dance*, American Journal of Physics **81**, pp. 7–13, 2013. Cited on page 430.

341 The fascinating variation of snow crystals is presented in C. Magono & C. W. Lee, *Meteorological classification of natural snow crystals*, Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University Ser. VII, **II**, pp. 321–325, 1966, also online at the eprints.lib.hokudai.ac.jp website. Cited on page 431.

342 Josef H. Reichholf, *Eine kurze Naturgeschichte des letzten Jahrtausends*, Fischer Verlag, 2007. Cited on page 431.

343 See for example, E. F. Bunn, *Evolution and the second law of thermodynamics*, American Journal of Physics 77, pp. 922–925, 2009. Cited on page 431.

344 See the paper J. Maldacena, S. H. Shenker & D. Stanford, *A bound on chaos*, free preprint at www.arxiv.org/abs/1503.01409. The bound has not be put into question yet. Cited on page 431.

345 A good introduction of the physics of bird swarms is T. Feder, *Statistical physics is for the birds*, Physics Today **60**, pp. 28–30, October 2007. Cited on page 431.

346 The Nagel-Schreckenberg model for vehicle traffic, for example, explains how simple fluctuations in traffic can lead to congestions. Cited on page 432.

347 J. J. Lissauer, *Chaotic motion in the solar system*, Reviews of Modern Physics **71**, pp. 835–845, 1999. Cited on page 435.

348 See Jean-Paul Dumont, *Les écoles présocratiques*, Folio Essais, Gallimard, 1991, p. 426. Cited on page 435.

349 For information about the number π, and about some other mathematical constants, the website oldweb.cecm.sfu.ca/pi/pi.html provides the most extensive information and references. It also has a link to the many other sites on the topic, including the overview at mathworld.wolfram.com/Pi.html. Simple formulae for π are

$$\pi + 3 = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n\,2^n}{\binom{2n}{n}} \tag{164}$$

or the beautiful formula discovered in 1996 by Bailey, Borwein and Plouffe

$$\pi = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{16^n} \left(\frac{4}{8n+1} - \frac{2}{8n+4} - \frac{1}{8n+5} - \frac{1}{8n+6} \right) . \tag{165}$$

The mentioned site also explains the newly discovered methods for calculating specific binary digits of π without having to calculate all the preceding ones. The known digits of π pass all tests of randomness, as the mathworld.wolfram.com/PiDigits.html website explains. However, this property, called *normality*, has never been proven; it is the biggest open question about π. It is possible that the theory of chaotic dynamics will lead to a solution of this puzzle in the coming years.

Another method to calculate π and other constants was discovered and published by D. V. Chudnovsky & G. V. Chudnovsky, *The computation of classical constants*, Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) **86**, pp. 8178–8182, 1989. The Chudnowsky brothers have built a supercomputer in Gregory's apartment for about 70 000 euros, and for many years held the record for calculating the largest number of digits of π. They have battled for decades with Kanada Yasumasa, who held the record in 2000,

calculated on an industrial supercomputer. However, from 2009 on, the record number of (consecutive) digits of π has been always calculated on a desktop PC. The first was Fabrice Bellard, who needed 123 days and used a Chudnovsky formula. Bellard calculated over 2.7 million million digits, as told on bellard.org. For the most recent records, see en.wikipedia.org/wiki/Chronology_of_computation_of_%CF%80. New formulae to calculate π are still occasionally discovered.

For the calculation of Euler's constant γ see also D. W. DeTemple, *A quicker convergence to Euler's constant*, The Mathematical Intelligencer, pp. 468–470, May 1993. Cited on pages 435 and 467.

350 The Johnson quote is found in William Seward, *Biographiana*, 1799. For details, see the story in quoteinvestigator.com/2014/11/08/without-effort/. Cited on page 440.

351 The first written record of the letter U seems to be Leon Battista Alberti, *Grammatica della lingua toscana*, 1442, the first grammar of a modern (non-latin) language, written by a genius that was intellectual, architect and the father of cryptology. The first written record of the letter J seems to be Antonio de Nebrija, *Gramática castellana*, 1492. Before writing it, Nebrija lived for ten years in Italy, so that it is possible that the I/J distinction is of Italian origin as well. Nebrija was one of the most important Spanish scholars. Cited on page 442.

352 For more information about the letters thorn and eth, have a look at the extensive report to be found on the website www.everytype.com/standards/wynnyogh/thorn.html. Cited on page 442.

353 For a modern history of the English language, see David Crystal, *The Stories of English*, Allen Lane, 2004. Cited on page 442.

354 Hans Jensen, *Die Schrift*, Berlin, 1969, translated into English as *Sign, Symbol and Script: an Account of Man's Efforts to Write*, Putnam's Sons, 1970. Cited on page 442.

355 David R. Lide, editor, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 78th edition, CRC Press, 1997. This classic reference work appears in a new edition every year. The full Hebrew alphabet is given on page 2-90. The list of abbreviations of physical quantities for use in formulae approved by ISO, IUPAP and IUPAC can also be found there.

However, the ISO 31 standard, which defines these abbreviations, costs around a thousand euro, is not available on the internet, and therefore can safely be ignored, like any standard that is supposed to be used in teaching but is kept inaccessible to teachers. Cited on pages 444 and 446.

356 See the mighty text by Peter T. Daniels & William Bright, *The World's Writing Systems*, Oxford University Press, 1996. Cited on page 444.

357 The story of the development of the numbers is told most interestingly by Georges Ifrah, *Histoire universelle des chiffres*, Seghers, 1981, which has been translated into several languages. He sums up the genealogy of the number signs in ten beautiful tables, one for each digit, at the end of the book. However, the book itself contains factual errors on every page, as explained for example in the review found at www.ams.org/notices/200201/rev-dauben.pdf and www.ams.org/notices/200202/rev-dauben.pdf. Cited on page 445.

358 See the for example the fascinating book by Steven B. Smith, *The Great Mental Calculators – The Psychology, Methods and Lives of the Calculating Prodigies*, Columbia University Press, 1983. The book also presents the techniques that they use, and that anybody else can use to emulate them. Cited on page 446.

359 See for example the article 'Mathematical notation' in the *Encyclopedia of Mathematics*, 10 volumes, Kluwer Academic Publishers, 1988–1993. But first all, have a look at the

informative and beautiful jeff560.tripod.com/mathsym.html website. The main source for all these results is the classic and extensive research by Florian Cajori, *A History of Mathematical Notations*, 2 volumes, The Open Court Publishing Co., 1928–1929. The square root sign is used in Christoff Rudolff, *Die Coss*, Vuolfius Cephaleus Joanni Jung: Argentorati, 1525. (The full title was *Behend vnnd Hubsch Rechnung durch die kunstreichen regeln Algebre so gemeinlicklich die Coss genent werden. Darinnen alles so treülich an tag gegeben, das auch allein auss vleissigem lesen on allen mündtlichē vnterricht mag begriffen werden, etc.*) Cited on page 446.

360 J. Tschichold, *Formenwamdlungen der et-Zeichen*, Stempel AG, 1953. Cited on page 448.

361 Malcolm B. Parkes, *Pause and Effect: An Introduction to the History of Punctuation in the West*, University of California Press, 1993. Cited on page 448.

362 This is explained by Berthold Louis Ullman, *Ancient Writing and its Influence*, 1932. Cited on page 448.

363 Paul Lehmann, *Erforschung des Mittelalters – Ausgewählte Abhandlungen und Aufsätze*, Anton Hiersemann, 1961, pp. 4–21. Cited on page 448.

364 Bernard Bischoff, *Paläographie des römischen Altertums und des abendländischen Mittelalters*, Erich Schmidt Verlag, 1979, pp. 215–219. Cited on page 448.

365 Hutton Webster, *Rest Days: A Study in Early Law and Morality*, MacMillan, 1916. The discovery of the unlucky day in Babylonia was made in 1869 by George Smith, who also rediscovered the famous *Epic of Gilgamesh*. Cited on page 448.

366 The connections between Greek roots and many French words – and thus many English ones – can be used to rapidly build up a vocabulary of ancient Greek without much study, as shown by the practical collection by J. Chaineux, *Quelques racines grecques*, Wetteren – De Meester, 1929. See also Donald M. Ayers, *English Words from Latin and Greek Elements*, University of Arizona Press, 1986. Cited on page 449.

367 In order to write well, read William Strunk & E. B. White, *The Elements of Style*, Macmillan, 1935, 1979, or Wolf Schneider, *Deutsch für Kenner – Die neue Stilkunde*, Gruner und Jahr, 1987. Cited on page 451.

368 *Le Système International d'Unités*, Bureau International des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Parc de Saint Cloud, 92310 Sèvres, France. All new developments concerning SI units are published in the journal *Metrologia*, edited by the same body. Showing the slow pace of an old institution, the BIPM launched a website only in 1998; it is now reachable at www.bipm.fr. See also the www.utc.fr/~tthomass/Themes/Unites/index.html website; this includes the biographies of people who gave their names to various units. The site of its British equivalent, www.npl.co.uk/npl/reference, is much better; it provides many details as well as the English-language version of the SI unit definitions. Cited on page 452.

369 The bible in the field of time measurement is the two-volume work by J. Vanier & C. Audoin, *The Quantum Physics of Atomic Frequency Standards*, Adam Hilge, 1989. A popular account is Tony Jones, *Splitting the Second*, Institute of Physics Publishing, 2000.

The site opdafl.obspm.fr/www/lexique.html gives a glossary of terms used in the field. For precision *length* measurements, the tools of choice are special lasers, such as mode-locked lasers and frequency combs. There is a huge literature on these topics. Equally large is the literature on precision *electric current* measurements; there is a race going on for the best way to do this: counting charges or measuring magnetic forces. The issue is still open. On *mass* and atomic mass measurements, see the volume on relativity. On high-precision *temperature* measurements, see Xem 287. Cited on page 453.

Quyển II, trang 74

370 The unofficial SI prefixes were first proposed in the 1990s by Jeff K. Aronson of the

University of Oxford, and might come into general usage in the future. See New Scientist **144**, p. 81, 3 December 1994. Other, less serious proposals also exist. Cited on page 454.

371 The most precise clock built in 2004, a caesium fountain clock, had a precision of one part in 10^{15}. Higher precision has been predicted to be possible soon, among others by M. Takamoto, F.-L. Hong, R. Higashi & H. Katori, *An optical lattice clock*, Nature **435**, pp. 321–324, 2005. Cited on page 456.

372 J. Bergquist, ed., *Proceedings of the Fifth Symposium on Frequency Standards and Metrology*, World Scientific, 1997. Cited on page 456.

373 J. Short, *Newton's apples fall from grace*, New Scientist **2098**, p. 5, 6 September 1997. More details can be found in R. G. Keesing, *The history of Newton's apple tree*, Contemporary Physics **39**, pp. 377–391, 1998. Cited on page 457.

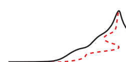
374 The various concepts are even the topic of a separate international standard, ISO 5725, with the title *Accuracy and precision of measurement methods and results*. A good introduction is John R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: the Study of Uncertainties in Physical Measurements*, 2nd edition, University Science Books, Sausalito, 1997. Cited on page 458.

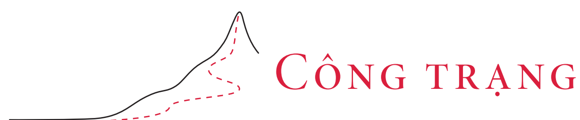
375 The most recent (2010) recommended values of the fundamental physical constants are found only on the website physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html. This set of constants results from an international adjustment and is recommended for international use by the Committee on Data for Science and Technology (CODATA), a body in the International Council of Scientific Unions, which brings together the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) and other organizations. The website of IUPAC is www.iupac.org. Cited on page 460.

376 Some of the stories can be found in the text by N. W. Wise, *The Values of Precision*, Princeton University Press, 1994. The field of high-precision measurements, from which the results on these pages stem, is a world on its own. A beautiful introduction to it is J. D. Fairbanks, B. S. Deaver, C. W. Everitt & P. F. Michaelson, eds., *Near Zero: Frontiers of Physics*, Freeman, 1988. Cited on page 460.

377 For details see the well-known astronomical reference, P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*, 1992. Cited on page 465.

378 F.F. Stanaway & al., *How fast does the Grim Reaper walk? Receiver operating characteristic curve analysis in healthy men aged 70 and over*, British Medical Journal **343**, p. 7679, 2011. This paper by an Australian research team, was based on a study of 1800 older men that were followed over several years; the paper was part of the 2011 Christmas issue and is freely downloadable at www.bmj.com. Additional research shows that walking and training to walk rapidly can indeed push death further away, as summarized by K. Jahn & T. Brandt, *Wie Alter und Krankheit den Gang verändern*, Akademie Aktuell **03**, pp. 22–25, 2012, The paper also shows that humans walk upright since at least 3.6 million years and that walking speed decreases about 1 % per year after the age of 60. Cited on page 480.





Công trạng

Lời cám ơn

Many people who have kept their gift of curiosity alive have helped to make this project come true. Most of all, Peter Rudolph and Saverio Pascazio have been – present or not – a constant reference for this project. Fernand Mayné, Anna Koolen, Ata Masafumi, Roberto Crespi, Serge Pahaut, Luca Bombelli, Herman Elswijk, Marcel Krijn, Marc de Jong, Martin van der Mark, Kim Jalink, my parents Peter and Isabella Schiller, Mike van Wijk, Renate Georgi, Paul Tegelaar, Barbara and Edgar Augel, M. Jamil, Ron Murdock, Carol Pritchard, Richard Hoffman, Stephan Schiller, Franz Aichinger and, most of all, my wife Britta have all provided valuable advice and encouragement.

Many people have helped with the project and the collection of material. Most useful was the help of Mikael Johansson, Bruno Barberi Gnecco, Lothar Beyer, the numerous improvements by Bert Sierra, the detailed suggestions by Claudio Farinati, the many improvements by Eric Sheldon, the detailed suggestions by Andrew Young, the continuous help and advice of Jonatan Kelu, the corrections of Elmar Bartel, and in particular the extensive, passionate and conscientious help of Adrian Kubala.

Important material was provided by Bert Peeters, Anna Wierzbicka, William Beaty, Jim Carr, John Merrit, John Baez, Frank DiFilippo, Jonathan Scott, Jon Thaler, Luca Bombelli, Douglas Singleton, George McQuarry, Tilman Hausherr, Brian Oberquell, Peer Zalm, Martin van der Mark, Vladimir Surdin, Julia Simon, Antonio Fermani, Don Page, Stephen Haley, Peter Mayr, Allan Hayes, Norbert Dragon, Igor Ivanov, Doug Renselle, Wim de Muynck, Steve Carlip, Tom Bruce, Ryan Budney, Gary Ruben, Chris Hillman, Olivier Glassey, Jochen Greiner, squark, Martin Hardcastle, Mark Biggar, Pavel Kuzin, Douglas Brebner, Luciano Lombardi, Franco Bagnoli, Lukas Fabian Moser, Dejan Corovic, Paul Vannoni, John Haber, Saverio Pascazio, Klaus Finkenzeller, Leo Volin, Jeff Aronson, Roggie Boone, Lawrence Tuppen, Quentin David Jones, Arnaldo Uguzzoni, Frans van Nieuwpoort, Alan Mahoney, Britta Schiller, Petr Danecek, Ingo Thies, Vitaliy Solomatin, Carl Offner, Nuno Proença, Elena Colazingari, Paula Henderson, Daniel Darre, Wolfgang Rankl, John Heumann, Joseph Kiss, Martha Weiss, Antonio González, Antonio Martos, André Slabber, Ferdinand Bautista, Zoltán Gácsi, Pat Furrie, Michael Reppisch, Enrico Pasi, Thomas Köppe, Martin Rivas, Herman Beeksma, Tom Helmond, John Brandes, Vlad Tarko, Nadia Murillo, Ciprian Dobra, Romano Perini, Harald van Lintel, Andrea Conti, François Belfort, Dirk Van de Moortel, Heinrich Neumaier, JarosThlaw Królikowski, John Dahlman, Fathi Namouni, Paul Townsend, Sergei Emelin, Freeman Dyson, S.R. Madhu Rao, David Parks, Jürgen Janek, Daniel Huber, Alfons Buchmann, William Purves, Pietro Redondi, Damoon Saghian, Frank Sweetser, Markus Zecherle, Zach Joseph Espiritu, Marian Denes, Miles Mutka, plus a number of people who wanted to remain unnamed.

The software tools were refined with extensive help on fonts and typesetting by Michael Zedler and Achim Blumensath and with the repeated and valuable support of Donald Arseneau; help came also from Ulrike Fischer, Piet van Oostrum, Gerben Wierda, Klaus Böhncke, Craig

Upright, Herbert Voss, Andrew Trevorrow, Danie Els, Heiko Oberdiek, Sebastian Rahtz, Don Story, Vincent Darley, Johan Linde, Joseph Hertzlinger, Rick Zaccone, John Warkentin, Ulrich Diez, Uwe Siart, Will Robertson, Joseph Wright, Enrico Gregorio, Rolf Niepraschk, Alexander Grahn, Werner Fabian and Karl Köller.

The typesetting and book design is due to the professional consulting of Ulrich Dirr. The typography was much improved with the help of Johannes Küster and his Minion Math font. The design of the book and its website also owe much to the suggestions and support of my wife Britta.

I also thank the lawmakers and the taxpayers in Germany, who, in contrast to most other countries in the world, allow residents to use the local university libraries.

From 2007 to 2011, the electronic edition and distribution of the Motion Mountain text was generously supported by the Klaus Tschira Foundation.

Công trạng phần Film

The beautiful animations of the rotating attached dodecaeder on Trang 91 and of the embedded ball on Trang 169 are copyright and courtesy of Jason Hise; he made them for this text and for the Wikimedia Commons website. Several of his animations are found on his website www.entropygames.net. The clear animation of a suspended spinning top, shown on Trang 149, was made for this text by Lucas Barbosa. The impressive animation of the Solar System on Trang 156 was made for this text by Rhys Taylor and is now found at his website www.rhysy.net. The beautiful animation of the lunation on Trang 191 was calculated from actual astronomical data and is copyright and courtesy by Martin Elsässer. It can be found on his website www.mondatlas.de/lunation.html. The beautiful film of geostationary satellites on Trang 195 is copyright and courtesy by Michael Kunze and can be found on his beautiful site www.sky-in-motion.de/en. The beautiful animation of the planets and planetoids on Trang 221 is copyright and courtesy by Hans-Christian Greier. It can be found on his wonderful website www.parallax.at. The film of an oscillating quartz on Trang 291 is copyright and courtesy of Micro Crystal, part of the Swatch Group, found at www.microcrystal.com. The animation illustrating group and wave velocity on Trang 299 and the animation illustrating the molecular motion in a sound wave on Trang 310 are courtesy and copyright of the ISVR at the University of Southampton. The film of the rogue wave on Trang 323 is courtesy and copyright of Amin Chabchoub; details can be found at journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.2.011015. The films of solitons on Trang 316 and of dromions on Trang 329 are copyright and courtesy by Jarmo Hietarinta. They can be found on his website users.utu.fi/hietarin. The film of leapfrogging vortex rings on Trang 378 is copyright and courtesy by Lim Tee Tai. It can be found via his fluid dynamics website serve.me.nus.edu.sg. The film of the growing snowflake on Trang 421 is copyright and courtesy by Kenneth Libbrecht. It can be found on his website www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals.

Công trạng phần hình ảnh

The photograph of the east side of the Langtang Lirung peak in the Nepalese Himalayas, shown on the front cover, is courtesy and copyright by Kevin Hite and found on his blog thegettingthere.com. The lightning photograph on Trang 14 is courtesy and copyright by Harald Edens and found on the www.lightningsafety.noaa.gov/photos.htm and www.weather-photography.com websites. The motion illusion on Trang 18 is courtesy and copyright by Michael Bach and found on his website www.michaelbach.de/ot/mot_rotsnake/index.html. It is a variation of the illusion by Kitaoka Akiyoshi found on www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka and used here with his permission. The figures on pages 20, 58 and 207 were made especially for this text and are copyright by Luca Gastaldi. The high speed photograph of a bouncing tennis ball on Trang 20 is courtesy

and copyright by the International Tennis Federation, and were provided by Janet Page. The figure of Etna on pages 22 and 154 is copyright and courtesy of Marco Fulle and found on the wonderful website www.stromboli.net. The famous photograph of the Les Poulains and its lighthouse by Philip Plisson on Trang 23 is courtesy and copyright by Pechêurs d'Images; see the websites www.plisson.com and www.pecheurs-d-images.com. It is also found in Plisson's magnus opus *La Mer*, a stunning book of photographs of the sea. The picture on Trang 23 of Alexander Tsukanov jumping from one ultimate wheel to another is copyright and courtesy of the Moscow State Circus. The photograph of a deer on Trang 26 is copyright and courtesy of Tony Rodgers and taken from his website www.flickr.com/photos/moonm. The photographs of speed measurement devices on Trang 36 are courtesy and copyright of the Fachhochschule Koblenz, of Silva, of Tracer and of Wikimedia. The graph on Trang 39 is redrawn and translated from the wonderful book by Henk Tennekes, *De wetten van de vliegkunst - Over stijgen, dalen, vliegen en zweven*, Aramith Uitgevers, 1993. The photographs of the ping-pong ball on Trang 41 and of the dripping water tap on Trang 354 are copyright and courtesy of Andrew Davidhazy and found on his website www.rit.edu/~andpph. The photograph of the bouncing water droplet on Trang 41 are copyright and courtesy of Max Groenendijk and found on the website www.lightmotif.nl. The photograph of the precision sundial on Trang 46 is copyright and courtesy of Stefan Pietrzik. The other clock photographs in the figure are from public domain sources as indicated. The graph on the scaling of biological rhythms on Trang 48 is drawn by the author using data from the European Molecular Biology Organization found at www.nature.com/embor/journal/v6/n1s/fig_tab/7400425_f3.html and Enrique Morgado. The drawing of the human ear on page Trang 51 and on Trang 324 are copyright of Northwestern University and courtesy of Tim Hain; it is found on his website www.dizziness-and-balance.com/disorders/bppv/otoliths.html. The illustrations of the vernier caliper and the micrometer screw on Trang 55 and 66 are copyright of Medien Werkstatt, courtesy of Stephan Bogusch, and taken from their instruction course found on their website www.medien-werkstatt.de. The photo of the tiger on Trang 55 is copyright of Naples zoo (in Florida, not in Italy), and courtesy of Tim Tetzlaff; see their website at www.napleszoo.com. The other length measurement devices on Trang 55 are courtesy and copyright of Keyence and Leica Geosystems, found at www.leica-geosystems.com. The curvimeter photograph on Trang 56 is copyright and courtesy of Frank Müller and found on the www.wikimedia.org website. The crystal photograph on the left of Trang 60 is copyright and courtesy of Stephan Wolfsried and found on the www.mindat.org website. The crystal photograph on the right of Trang 60 is courtesy of Tullio Bernabei, copyright of Arch. Speleoresearch & Films/La Venta and found on the www.laventa.it and www.naica.com.mx websites. The hollow Earth figure on pages 62 is courtesy of Helmut Diel and was drawn by Isolde Diel. The wonderful photographs on Trang 71, Trang 151, Trang 180, Trang 217, Trang 213 and Trang 503 are courtesy and copyright by Anthony Ayiomamitis; the story of the photographs is told on his beautiful website at www.perseus.gr. The anticrepuscular photograph on Trang 72 is courtesy and copyright by Peggy Peterson. The rope images on Trang 73 are copyright and courtesy of Jakob Bohr. The image of the tight knot on Trang 74 is courtesy and copyright by Piotr Pieranski. The firing caterpillar figure of Trang 80 is courtesy and copyright of Stanley Caveney. The photograph of an airbag sensor on Trang 87 is courtesy and copyright of Bosch; the accelerometer picture is courtesy and copyright of Rieker Electronics; the three drawings of the human ear are copyright of Northwestern University and courtesy of Tim Hain and found on his website www.dizziness-and-balance.com/disorders/bppv/otoliths.html. The photograph of Orion on Trang 88 is courtesy and copyright by Matthew Spinelli; it was also featured on antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap030207.html. On Trang 88, the drawing of star sizes is courtesy and copyright Dave Jarvis. The photograph of Regulus and Mars on Trang 89 is courtesy and copyright of Jürgen Michelberger and found on www.jmichelberger.de. On Trang 92, the millipede photograph is courtesy and copyright of David Parks and found

on his website www.mobot.org/mobot/madagascar/image.asp?relation=A71. The photograph of the gecko climbing the bus window on Trang 92 is courtesy and copyright of Marcel Berendsen, and found on his website www.flickr.com/photos/berendm. The photograph of the amoeba is courtesy and copyright of Antonio Guillén Oterino and is taken from his wonderful website *Proyecto Agua* at www.flickr.com/photos/microagua. The photograph of N. decemspinosa on Trang 92 is courtesy and copyright of Robert Full, and found on his website rjf9.biol.berkeley.edu/twiki/bin/view/PolyPEDAL/LabPhotographs. The photograph of P. ruralis on Trang 92 is courtesy and copyright of John Brackenbury, and part of his wonderful collection on the website www.sciencephoto.co.uk. The photograph of the rolling spider on Trang 92 is courtesy and copyright of Ingo Rechenberg and can be found at www.bionik.tu-berlin.de, while the photo of the child somersaulting is courtesy and copyright of Karva Javi, and can be found at www.flickr.com/photos/karvajavi. The photographs of flagellar motors on Trang 94 are copyright and courtesy by Wiley & Sons and found at emboj.embopress.org/content/30/14/2972. The two wonderful films about bacterial flagella on Trang 95 and on Trang 95 are copyright and courtesy of the Graduate School of Frontier Biosciences at Osaka University. The beautiful photograph of comet McNaught on Trang 96 is courtesy and copyright by its discoveror, Robert McNaught; it is taken from his website at www.mso.anu.edu.au/~rmn and is found also on antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap070122.html. The sonoluminsecence picture on Trang 97 is courtesy and copyright of Detlef Lohse. The photograph of the standard kilogram on Trang 101 is courtesy and copyright by the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). On Trang 109, the photograph of Mendeleyev's balance is copyright of Thinktank Trust and courtesy of Jack Kirby; it can be found on the www.birminghamstories.co.uk website. The photograph of the laboratory balance is copyright and courtesy of Mettler-Toledo. The photograph of the cosmonaut mass measurement device is courtesy of NASA. On Trang 115, the photographs of the power meters are courtesy and copyright of SRAM, Laser Components and Wikimedia. The measured graph of the walking human on Trang 123 is courtesy and copyright of Ray McCoy. On Trang 131, the photograph of the stacked gyros is cortesy of Wikimedia. The photograph of the clock that needs no winding up is copyright Jaeger-LeCoultre and courtesy of Ralph Stieber. Its history and working are described in detail in a brochure available from the company. The company's website is www.Jaeger-LeCoultre.com. The photograph of the ship lift at Strépy-Thieux on Trang 133 is courtesy and copyright of Jean-Marie Hoornaert and found on Wikimedia Commons. The photograph of the Celtic wobble stone on Trang 134 is courtesy and copyright of Ed Keath and found on Wikimedia Commons. The photograph of the star trails on Trang 138 is courtesy and copyright of Robert Schwartz; it was featured on apod.nasa.gov/apod/ap120802.html. The photograph of Foucault's gyroscope on Trang 142 is courtesy and copyright of the museum of the CNAM, the Conservatoire National des Arts et Métiers in Paris, whose website is at www.arts-et-metiers.net. The photograph of the laser gyroscope on Trang 142 is courtesy and copyright of JAXA, the Japan Aerospace Exploration Agency, and found on their website at jda.jaxa.jp. On Trang 143, the three-dimensional model of the gyroscope is copyright and courtesy of Zach Joseph Espiritu. The drawing of the precision laser gyroscope on Trang 145 is courtesy of Thomas Klügel and copyright of the Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. The photograph of the instrument is courtesy and copyright of Carl Zeiss. The machine is located at the Fundamentalstation Wettzell, and its website is found at www.wettzell.ifag.de. The illustration of plate tectonics on Trang 150 is from a film produced by NASA's HoloGlobe project and can be found on svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=1288 The graph of the temperature record on Trang 155 is copyright and courtesy Jean Jouzel and Science/AAAS. The photograph of a car driving through the snow on Trang 157 is copyright and courtesy by Neil Provo at neilprovo.com. The photographs of a crane fly and of a hevring fly with their halteres on Trang 161 are by Pinzo, found on Wikimedia Commons, and by Sean McCann from his website ibycter.com. The MEMS photograph and

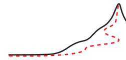
graph is copyright and courtesy of ST Microelectronics. On Trang 167, Hình 123 is courtesy and copyright of the international Gemini project (Gemini Observatory/Association of Universities for Research in Astronomy) at www.ausgo.unsw.edu.au and www.gemini.edu; the photograph with the geostationary satellites is copyright and courtesy of Michael Kunze and can be found just before his equally beautiful film at www.sky-in-motion.de/de/zeitraffer_einzel.php?NR=12. The photograph of the Earth's shadow on Trang 168 is courtesy and copyright by Ian R. Rees and found on his website at weaknuclearforce.wordpress.com/2014/03/30/earths-shadow. The basilisk running over water, Trang 170 and on the back cover, is courtesy and copyright by the Belgian group TERRA vzw and found on their website www.terravzw.org. The water strider photograph on Trang 171 is courtesy and copyright by Charles Lewallen. The photograph of the water robot on Trang 171 is courtesy and copyright by the American Institute of Physics. The allometry graph about running speed in mammals is courtesy and copyright of José Iriarte-Díaz and of The Journal of Experimental Biology; it is reproduced and adapted with their permission from the original article, Xem 132, found at jeb.biologists.org/content/205/18/2897. The illustration of the motion of Mars on Trang 176 is courtesy and copyright of Tunc Tezel. The photograph of the precision pendulum clock on Trang 182 is copyright of Erwin Sattler OHG,Sattler OHG, Erwin and courtesy of Ms. Stephanie Sattler-Rick; it can be found at the www.erwinsattler.de website. The figure on the triangulation of the meridian of Paris on Trang 184 is copyright and courtesy of Ken Alder and found on his website www.kenalder.com. The photographs of the home version of the Cavendish experiment on Trang 186 are courtesy and copyright by John Walker and found on his website www.fourmilab.ch/gravitation/foobar. The photographs of the precision Cavendish experiment on Trang 187 are courtesy and copyright of the Eöt-Wash Group at the University of Washington and found at www.npl.washington.edu/eotwash. The geoid of Trang 189 is courtesy and copyright by the GeoForschungsZentrum Potsdam, found at www.gfz-potsdam.de. The moon maps on Trang 192 are courtesy of the USGS Astrogeology Research Program, astrogeology.usgs.gov, in particular Mark Rosek and Trent Hare. The graph of orbits on Trang 193 is courtesy and copyright of Geoffrey Marcy. On Trang 197, the asteroid orbit is courtesy and copyrigt of Seppo Mikkola. The photograph of the tides on Trang 198 is copyright and courtesy of Gilles Régnier and found on his website www.gillesregnier.com; it also shows an animation of that tide over the whole day. The wonderful meteor shower photograph on Trang 206 is courtesy and copyright Brad Goldpaint and found on its website goldpaintphotography.com; it was also featured on apod.nasa.gov/apod/ap160808.html. The meteor photograph on Trang 206 is courtesy and copyright of Robert Mikaelyan and found on his website www.fotoarena.nl/tag/robert-mikaelyan/. The pictures of fast descents on snow on Trang 209 are copyright and courtesy of Simone Origone, www.simoneorigone.it, and of Éric Barone, www.ericbarone.com. The photograph of the Galilean satellites on Trang 210 is courtesy and copyright by Robin Scagell and taken from his website www.galaxypix.com. On Trang 217, the photographs of Venus are copyrigt of Wah! and courtesy of Wikimedia Commons; see also apod.nasa.gov/apod/ap060110.html. On Trang 218, the old drwing of Le Sage is courtesy of Wikimedia. The picture of the celestial bodies on Trang 222 is copyright and courtesy of Alex Cherney and was featured on apod.nasa.gov/apod/ap160816.html.

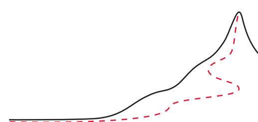
The pictures of solar eclipses on Trang 223 are courtesy and copyright by the Centre National d'Etudes Spatiales, at www.cnes.fr, and of Laurent Laveder, from his beautiful site at www.PixHeaven.net. The photograph of water parabolae on Trang 227 is copyright and courtesy of Oase GmbH and found on their site www.oase-livingwater.com. The photograph of insect gear on Trang 245 is copyright and courtesy of Malcolm Burrows; it is found on his website www.zoo.cam.ac.uk/departments/insect-neuro. The pictures of daisies on Trang 246 are copyright and courtesy of Giorgio Di Iorio, found on his website www.flickr.com/photos/gioischia, and of Thomas Lüthi, found on his website www.tiptom.ch/album/blumen/. The photograph of

fireworks in Chantilly on Trang 249 is courtesy and copyright of Christophe Blanc and taken from his beautiful website at christopheblanc.free.fr. On Trang 258, the beautiful photograph of M74 is copyright and courtesy of Mike Hankey and found on his beautiful website cdn.mikesastrophotos.com. The figure of myosotis on Trang 267 is courtesy and copyright by Markku Savela. The image of the wallpaper groups on page Trang 268 is copyright and courtesy of Dror Bar-Natan, and is taken from his fascinating website at www.math.toronto.edu/~drorbn/Gallery. The images of solid symmetries on page Trang 269 is copyright and courtesy of Jonathan Goss, and is taken from his website at www.phys.ncl.ac.uk/staff.njpg/symmetry. Also David Mermin and Neil Ashcroft have given their blessing to the use. On Trang 292, the Fourier decomposition graph is courtesy Wikimedia. The drawings of a ringing bell on Trang 293 are courtesy and copyright of H. Spiess. The image of a vinyl record on Trang 293scale=1 is copyright of Chris Supranowitz and courtesy of the University of Rochester; it can be found on his expert website at www.optics.rochester.edu/workgroups/cml/opt307/spr05/chris. On Trang 296, the water wave photographs are courtesy and copyright of Eric Willis, Wikimedia and allyhook. The interference figures on Trang 302 are copyright and courtesy of Rüdiger Paschotta and found on his free laser encyclopedia at www.rp-photonics.com. On Trang 308, the drawings of the larynx are courtesy Wikimedia. The images of the microanemometer on page Trang 311 are copyright of Microflown and courtesy of Marcin Korbasiewicz. More images can be found on their website at www.microflown.com. The image of the portable ultrasound machine on Trang 312 is courtesy and copyright General Electric. The ultrasound image on Trang 312 courtesy and copyright Wikimedia. The figure of the soliton in the water canal on Trang 315 is copyright and courtesy of Dugald Duncan and taken from his website on www.ma.hw.ac.uk/solitons/soliton1.html. The photograph on Trang 319 is courtesy and copyright Andreas Hallerbach and found on his website www.donvanone.de. The image of Rubik's cube on Trang 345 is courtesy of Wikimedia. On Trang 326, the photographs of shock waves are copyright and courtesy of Andrew Davidhazy, Gary Settles and NASA. The photographs of wakes on Trang 327 are courtesy Wikimedia and courtesy and copyright of Christopher Thorn. On Trang 330, the photographs un unusual water waves are copyright and courtesy of Diane Henderson, Anonymous and Wikimedia. The fractal mountain on Trang 333 is courtesy and copyright by Paul Martz, who explains on his website www.gameprogrammer.com/fractal.html how to program such images. The photograph of the oil droplet on a water surface on Trang 334 is courtesy and copyright of Wolfgang Rueckner and found on sciencedemonstrations.fas.harvard.edu/icb. The soap bubble photograph on page Trang 342 is copyright and courtesy of LordV and found on his website www.flickr.com/photos/lordv. The photographs of silicon carbide on Trang 343 are copyright and courtesy of Dietmar Siche. The photograph of a single barium ion on Trang 343 is copyright and courtesy of Werner Neuhauser at the Universität Hamburg. The AFM image of silicon on Trang 344 is copyright of the Universität Augsburg and is used by kind permission of German Hammerl. The figure of helium atoms on metal on Trang 344 is copyright and courtesy of IBM. The photograph of an AFM on Trang 344 is copyright of Nanosurf (see www.nanosurf.ch) and used with kind permission of Robert Sum. The photograph of the tensegrity tower on Trang 348 is copyright and courtesy of Kenneth Snelson. The photograph of the Atomium on Trang 350 is courtesy and copyright by the Asbl Atomium Vzw and used with their permission, in cooperation with SABAM in Belgium. Both the picture and the Atomium itself are under copyright. The photographs of the granular jet on Trang 351 in sand are copyright and courtesy of Amy Shen, who discovered the phenomenon together with Sigurdur Thoroddsen. The photographs of the machines on Trang 351 are courtesy and copyright ASML and Voith. The photograph of the bucket-wheel excavator on Trang 352 is copyright and courtesy of RWE and can be found on their website www.rwe.com. The photographs of fluid motion on Trang 354 are copyright and courtesy of John Bush, Massachusetts Institute of Technology, and taken from

his website www-math.mit.edu/~bush. On Trang 359, the images of the fluid paradoxa are courtesy and copyright of IFE. The images of the historic Magdeburg experiments by Guericke on Trang 360 are copyright of Deutsche Post, Otto-von-Guericke-Gesellschaft at www.ovgg.ovgu.de, and the Deutsche Fotothek at www.deutschefotothek.de; they are used with their respective permissions. On page Trang 361, the laminar flow photograph is copyright and courtesy of Martin Thum and found on his website at www.flickr.com/photos/39904644@N05; the melt water photograph is courtesy and copyright of Steve Butler and found on his website at www.flickr.com/photos/11665506@N00. The sailing boat on Trang 362 is courtesy and copyright of Bladerider International. The illustration of the atmosphere on Trang 364 is copyright of Sebman81 and courtesy of Wikimedia. The impressive computer image about the amount of water on Earth on Trang 369 is copyright and courtesy of Jack Cook, Adam Nieman, Woods Hole Oceanographic Institution, Howard Perlman and USGS; it was featured on apod.nasa.gov/apod/ap160911.html. The figures of wind speed measurement systems on Trang 374 are courtesy and copyright of AQSystems, at www.aqs.se, and Leosphere at www.leosphere.fr On Trang 376, the Leidenfrost photographs are courtesy and copyright Kenji Lopez-Alt and found on www.seriouseats.com/2010/08/how-to-boil-water-faster-simmer-temperatures.html. The photograph of the smoke ring at Etna on Trang 378 is courtesy and copyright by Daniela Szczepanski and found at her extensive websites www.vulkanarchiv.de and www.vulkane.net. On Trang 379, the photographs of rolling droplets are copyright and courtesy of David Quéré and taken from iusti.polytech.univ-mrs.fr/~aussillous/marbles.htm. The thermographic images of a braking bicycle on Trang 383 are copyright Klaus-Peter Möllmann and Michael Vollmer, Fachhochschule Brandenburg/Germany, and courtesy of Michael Vollmer and Frank Pinno. The image of Trang 383 is courtesy and copyright of ISTA. The images of thermometers on Trang 386 are courtesy and copyright Wikimedia, Ron Marcus, Braun GmbH, Universum, Wikimedia and Thermodevices. The balloon photograph on Trang 390 is copyright Johan de Jong and courtesy of the Dutch Balloon Register found at www.dutchballoonregister.nl.ballonregister, nederlands The pollen image on Trang 391 is from the Dartmouth College Electron Microscope Facility and courtesy Wikimedia. The scanning tunnelling microscope picture of gold on Trang 401 is courtesy of Sylvie Rousset and copyright by CNRS in France. The photograph of the Ranque–Hilsch vortex tube is courtesy and copyright Coolquip. The photographs and figure on Trang 418 are copyright and courtesy of Ernesto Altshuler, Claro Noda and coworkers, and found on their website www.complexperiments.net. The road corrugation photo is courtesy of David Mays and taken from his paper Xem 326. The oscillon picture on Trang 420 is courtesy and copyright by Paul Umbanhowar. The drawing of swirled spheres on Trang 420 is courtesy and copyright by Karsten Kötter. The pendulum fractal on Trang 424 is courtesy and copyright by Paul Nylander and found on his website bugman123.com. The fluid flowing over an inclined plate on Trang 427 is courtesy and copyright by Vakhtang Putkaradze. The photograph of the Belousov-Zhabotinski reaction on Trang 427 is courtesy and copyright of Yamaguchi University and found on their picture gallery at www.sci.yamaguchi-u.ac.jp/sw/sw2006/. The photographs of starch columns on Trang 429 are copyright of Gerhard Müller (1940–2002), and are courtesy of Ingrid Hörnchen. The other photographs on the same page are courtesy and copyright of Raphael Kessler, from his websitewww.raphaelk.co.uk, of Bob Pohlad, from his websitewww.ferrum.edu/bpohlad, and of Cédric Hüsler. On Trang 430, the diagram about snow crystals is copyright and courtesy by Kenneth Libbrecht; see his website www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals. The photograph of a swarm of starlings on Trang 432 is copyright and courtesy of Andrea Cavagna and Physics Today. The photograph of the bursting soap bubble on Trang 476 is copyright and courtesy by Peter Wienerroither and found on his website homepage.univie.ac.at/Peter.Wienerroither. The photograph of sunbeams on Trang 478 is copyright and courtesy by Fritz Bieri and Heinz Rieder and found on their website www.beatenbergbilder.ch. The drawing

on Trang 483 is courtesy and copyright of Daniel Hawkins. The photograph of a slide rule on Trang 486 is courtesy and copyright of Jörn Lütjens, and found on his website www.joernluetjens.de. On Trang 490, the bicycle diagram is courtesy and copyright of Arend Schwab. On Trang 503, the sundial photograph is courtesy and copyright of Stefan Pietrzik. On Trang 508 the chimney photographs are copyright and courtesy of John Glaser and Frank Siebner. The photograph of the ventomobil on Trang 516 is courtesy and copyright Tobias Klaus. All drawings are copyright by Christoph Schiller. If you suspect that your copyright is not correctly given or obtained, this has not been done on purpose; please contact me in this case.





Bảng tra cứu nhân danh

C

B
Becker

D

G

Glassey

I

J

K

N

N

NEUHAUSER

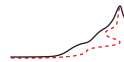
S

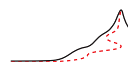
SHALYT-MARGOLIN

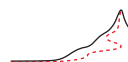
T

W

Wittlinger





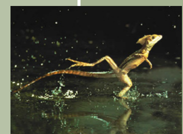


HÀNH SƠN

Cuộc phiêu lưu của Vật lý – Quyển I

Sự rơi, dòng và nhiệt

Thiên nhiên có thực sự lười hết cỡ không?
Động vật và con người chuyển động như thế nào?
Cuộc du hành tuyệt vời nhất là gì?
Chúng ta có thể nhờ trọng lực nâng mình lên hay không?
Chuyển động có thể tiên đoán được hay không?
Entropy nhỏ nhất là bao nhiêu?
Các kiểu thức và nhịp điệu trong thiên nhiên đã xuất hiện như thế nào?
Bạn có thể phát hiện và đo kích thước của các nguyên tử hay không?
Bài toán Vật lý nào cho đến nay vẫn chưa giải được?



Qua việc trả lời các câu hỏi về chuyển động, bộ sách này giới thiệu cho các bạn một phần vật lý hiện đại thú vị và nhức đầu – vì bạn sẽ ngạc nhiên và bị thử thách trên từng trang sách. Khởi đi từ cuộc sống hằng ngày, cuộc thám hiểm này sẽ cung cấp cho các bạn một tổng quan về các thành quả mới nhất trong Cơ học, Nhiệt học, Điện từ học, Thuyết tương đối, Vật lý lượng tử và Lý thuyết thống nhất.

Christoph Schiller, PhD Université Libre de Bruxelles, là một nhà vật lý và là người viết sách phổ biến vật lý. Ông viết bộ sách này cho con mình đọc và cũng dành cho mọi học sinh, giáo viên và độc giả quan tâm đến vật lý - khoa học về sự chuyển động.

Ấn bản miễn phí dạng Pdf có tại
www.motionmountain.net

